Dynamisches Sonnensystem – die tatsächlichen Hintergründe des Klimawandels

Teil 1 – Die Sonne bestimmt den Temperaturgang
Teil 2 – Die Sonne, der faszinierende Stern
Teil 3 – Sonnenflecken und ihre Ursachen
Teil 4 – Die Sonnenatmosphäre, Korona, Heliosphärische Stromschicht, interplanetares Magnetfeld
Teil 5 – Die variable Sonne
Teil 6 – Der Einfluss der Sonne auf unser Wetter/Klima
Teil 7 – Der Einfluss der Sonne auf die Wolkenbedeckung über Svensmark hinaus
Teil 8 – Zukünftige Temperaturentwicklung und deren Schwankungen

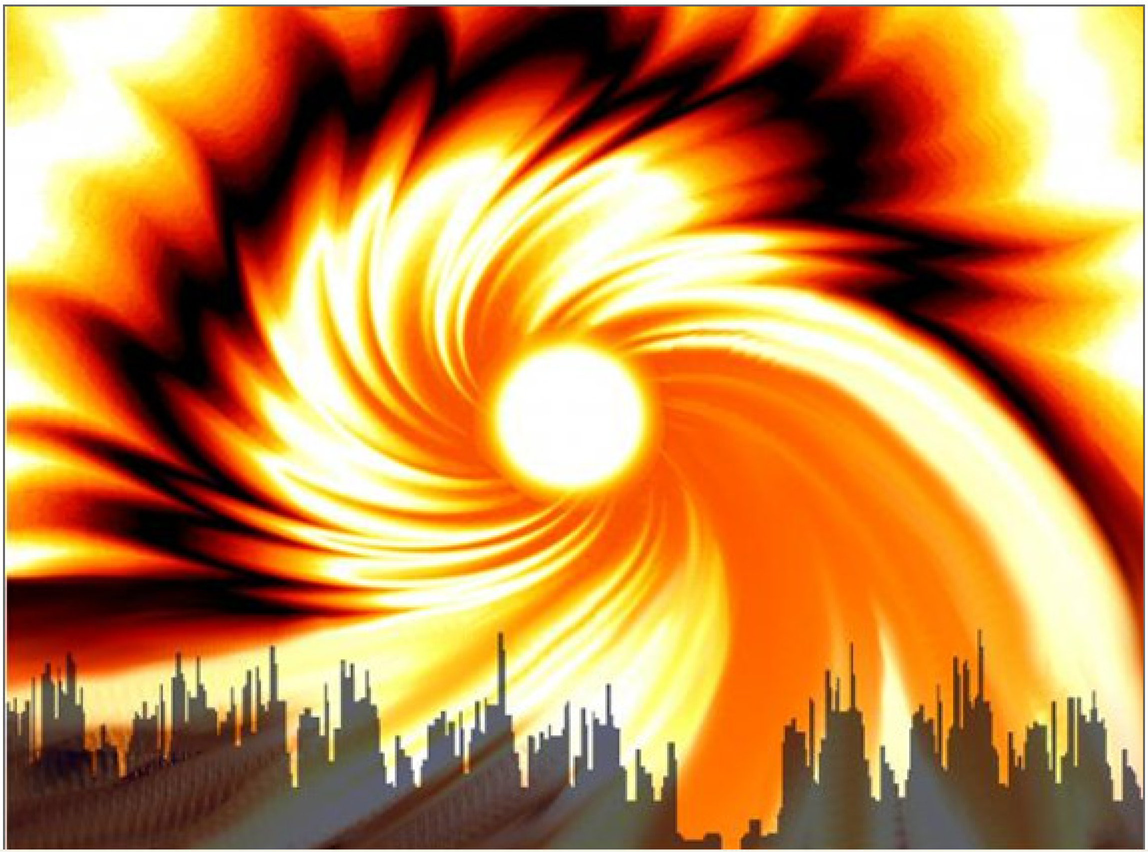


Abbildung 0

Wir alle kennen die Hauptargumente in der Diskussion der sog. menschen-gemachten Klimaerwärmung. Eines davon sei die Tatsache, dass globale Temperatur und Sonnenaktivität seit etwa Mitte der 1970-Jahre nicht mehr synchron laufen würden und sich die Erdtemperaturen von der Sonnenaktivität abgekoppelt hätten und folglich als Ursache dieser Erwärmung zum Ende des 20. Jahrhunderts, bis kurz nach der Jahrtausendwende (bis ca. 2003, Anmerkung: Seitdem gehen die Temperaturen zurück) nur sog. Treibhausgase, allen voran CO_2 verantwortlich wären. Der Bericht des Autors wird Ihnen zeigen und wissenschaftlich darlegen, dass diese Aussage falsch ist und der Temperaturgang auf der Erde einzig durch die Sonne bestimmt wird. Die Beeinflussung erfolgt direkt, sowie indirekt über die Wolkenbildung (z.B. Svensmark-Effekt). Über die bekannten Einflüsse, gibt es weitere Einflussfaktoren, die Inhalt dieses Artikels sind.

Der EIKE-Bericht "Meteorologe Joe Bastardi nennt menschengemachte CO_2-Erwärmung einen offensichtlichen Betrug" zeigt bereits anhand der AMO und PDO, wie sehr natürliche Faktoren die globalen Temperaturen bestimmen und das CO_2 keine Korrelation dazu erkennen lässt. Die

vorliegende achtteilige Studie“ zeigt, auf was solche natürlichen Faktoren wie AMO oder PDO beruhen und wodurch sie, wann ausgelöst werden. Es wird der Frage nachgegangen, was die nordamerikanische Hurrikan- und Tornadoentwicklung, sowie die Gletscher- und Eisbedeckung in den Alpen und der Arktis steuert. Darüber hinaus wird anhand der solaren Aktivitätsmuster eine Prognose über die zukünftige Klimaentwicklung aufgestellt.

Sie werden erfahren:

- Was und worauf der (moderate) Temperaturanstieg, der sich in der Abbildung 1 wiederfindet, über ClimateGate hinaus, aus Sicht des Autors zurück zu führen ist

- Wie die Sonne in ihrem Innern nach dem heutigen Kenntnisstand aufgebaut ist und was ihre Aktivitätsschwankungen, wie steuert

- Die Sonnenaktivität die Hurrikan- und Tornadoaktivität steuert – wann mit starker Hurrikan- und Tornadoaktivität zu rechnen ist

- Was die Eisbedeckung in der Arktis und Antarktis, sowie die Gletscherentwicklung am Beispiel der Alpen bestimmt

- Wie sich die Temperaturen und damit das Klima in den nächsten 40 Jahren, 200 Jahren und 2.000 Jahren anhand gültiger Sonnenparameter entwickeln werden und wann mit einer nächsten großen Vereisungsepoche auf der Nordhalbkugel zu rechnen ist. Wobei eine Fortführung der dynamischen und zyklischen Sonnenparameter, die im Innern der Sonne entstehen, angenommen wird

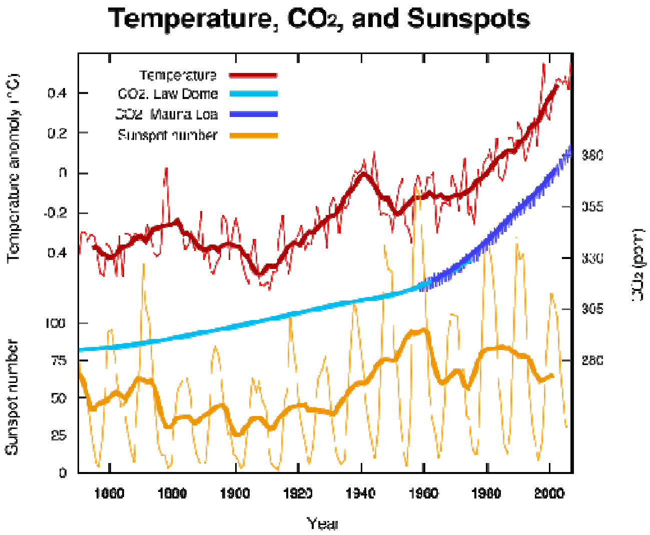


Abbildung 1 (Quelle: Stanford Solar Center) zeigt den mittels Thermometern erfasste und gemittelten, globalen Temperaturanstieg (rote Kurve), die blaue Kurve zeigt die Entwicklung der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre und die beiden unteren Kurven die Sonnenzyklen und die (über 5 Jahre geglättete) gemittelte Sonnenfleckenkurve, jeweils im Zeitraum von 1850 bis 2007. Sie soll anhand des ausgewählten solaren Parameters, der Sonnenfleckenzahl darlegen, dass Sonnenaktivität und Erdtemperatur(en) nicht mehr synchron laufen würden.

In einem meiner letzten EIKE-Berichte (http://www.eike-klima-energie.eu/news-anzeige/la-nina-und-el-nino-was-sich-dahinter-verbirgt-und-was-sie-wann-ausloest-die-sonne-ist-an-allem-schuld/), hatte ich bereits aufgezeigt, dass das Temperaturgeschehen El Niño-basiert ist und El Niño, wie seine „Schwester“ La Niña durch die Sonnenaktivität ausgelöst werden. Hierzu dienten teilweise bisher nicht angewandte Sonnenparameter, die in Korrelation zum Temperaturgang der letzten 30 Jahre gesetzt wurden und signifikante Übereinstimmung zeigen. In diesem Bericht möchte der Autor ausführlich darauf eingehen und zeigen, wodurch diese Schwankungen auf der Sonne ausgelöst werden.

Besser zur Betrachtung der Sonnenaktivität, als die Sonnenfleckenzahl (warum, wird Ihnen der Autor anhand des inneren Aufbaus der Sonne noch zeigen) eignet sich zur Bewertung der solaren Aktivität die direkte magnetische Aktivität der Sonne. Seit dem Satellitenzeitalter stehen noch weitere Parameter als beispielsweise die Sonnenfleckenzahl zur Verfügung, die von der Erde aus nicht beobachtbar sind. Ein bedeutsamer Parameter ist die Korona der Sonne. Wie die folgende Abbildung zeigt, springt die Koronatemperatur scheinbar unvermittelt auf annähernd ihren doppelten Temperaturwert.

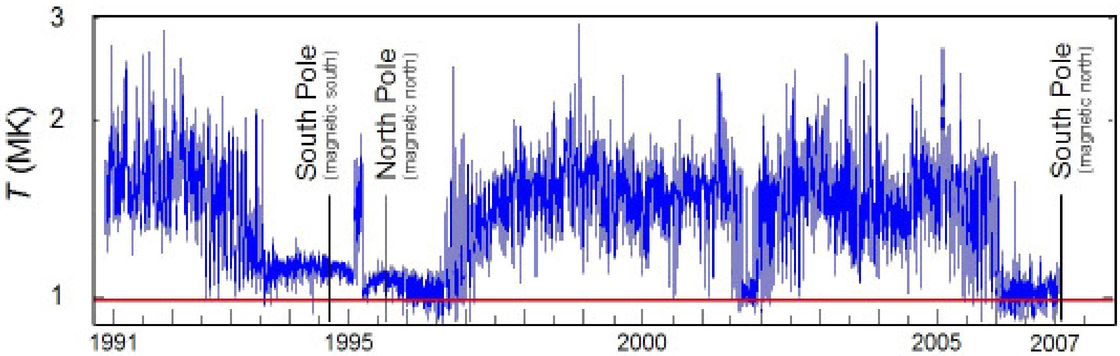
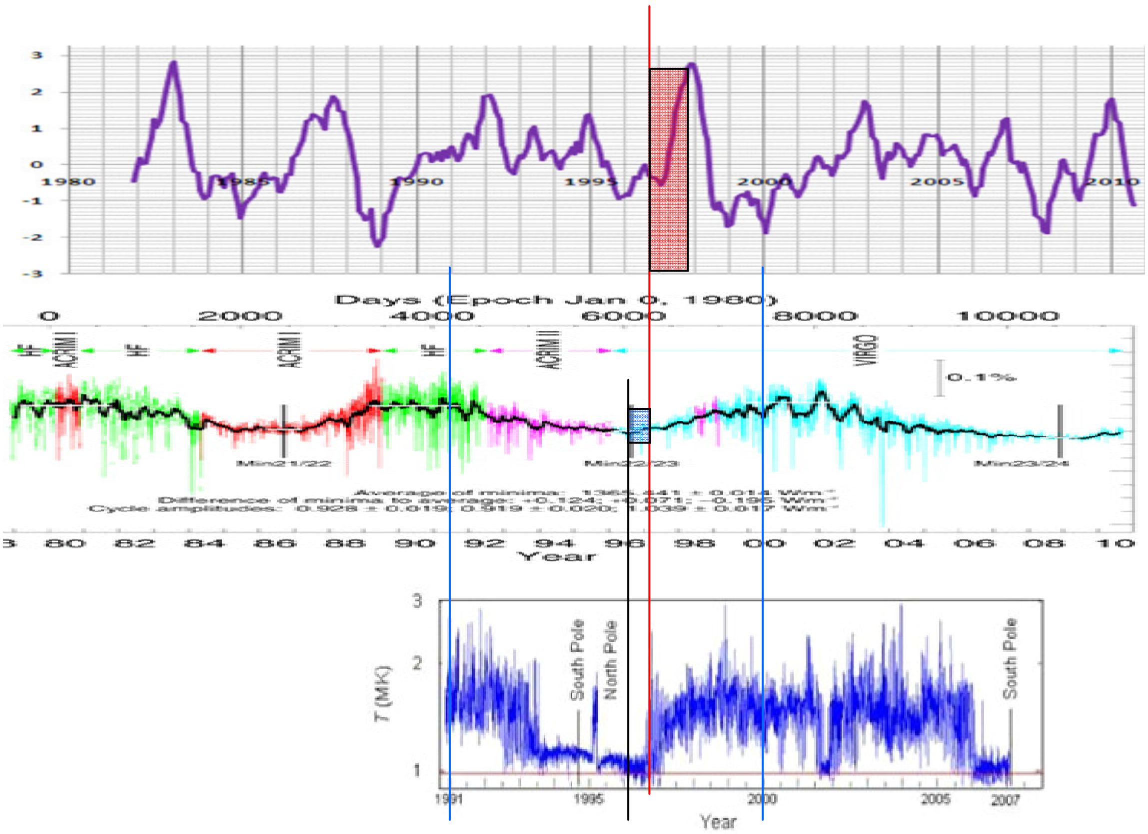


Abbildung 2 (http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect20/A5a.html) zeigt die Koronatemperatur im Zeitraum 1991 - 2007, aufgenommen mit SWICS (Solar Wind Ion Composition Experiment) der Sonnensonde Ulysses.

Hat dieses Zuschalten der Koronaturboheizung, die Verdopplung der Koronatemperaturen von 1 Million Kelvin auf nahezu 2 Millionen Kelvin Auswirkungen auf das irdische Wetter und hier insbesondere auf El Niño/La Niña-Ereignisse? Hierzu werden die El Niño-Ereignisse in Relation gesetzt.



Die Zeitreihe oben (Abbildung 3) zeigt den El Niño 3.4, der z.B. von der NOAA zur Betrachtung von El Niño-/La Niña-Ereignissen herangezogen wird. Die mittlere Zeitreihe die solare Aktivität nach Angaben der PMOD (Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos) und die untere Datenreihe die Koronatemperatur aus Abbildung 2. Die blauen Linien dienen zur Zeitausrichtung der Kurven, die rote Linie zeigt den Sprung der Koronatemperatur von 1 Million auf annähernd 2 Millionen Kelvin. Das blaue Rechteck die verstrichene Zeit vom

Sonnenminimum, welches von der PMOD durch einen senkrechten Strich gekennzeichnet ist und das rote Rechteck, die Zeitspanne vom Einschalten der „Koronaturboheizung“ bis zum El Niño-Maximum.

Nun lässt sich anhand einer Datenbeziehung kein Korrelationsbeweis führen. Daher sollen alle El Niño-Ereignisse in der Datenreihe El Niño 3.4 auf Korrelation zur solaren Aktivität überprüft werden. Der Zeitpunkt ab 1981 ist daher so interessant, da von den Vertretern der CO_2-basierten Erwärmung die Aussage gemacht wird, dass bis ca. 1980 Sonnenaktivität und Temperatur synchron laufen, ab 1980 sich die Temperatur aber von der solaren Aktivität abkoppeln würde.

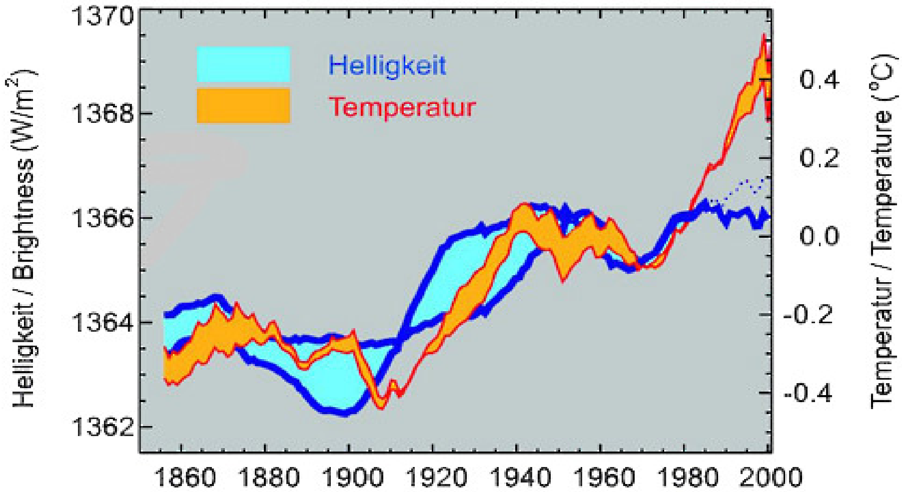
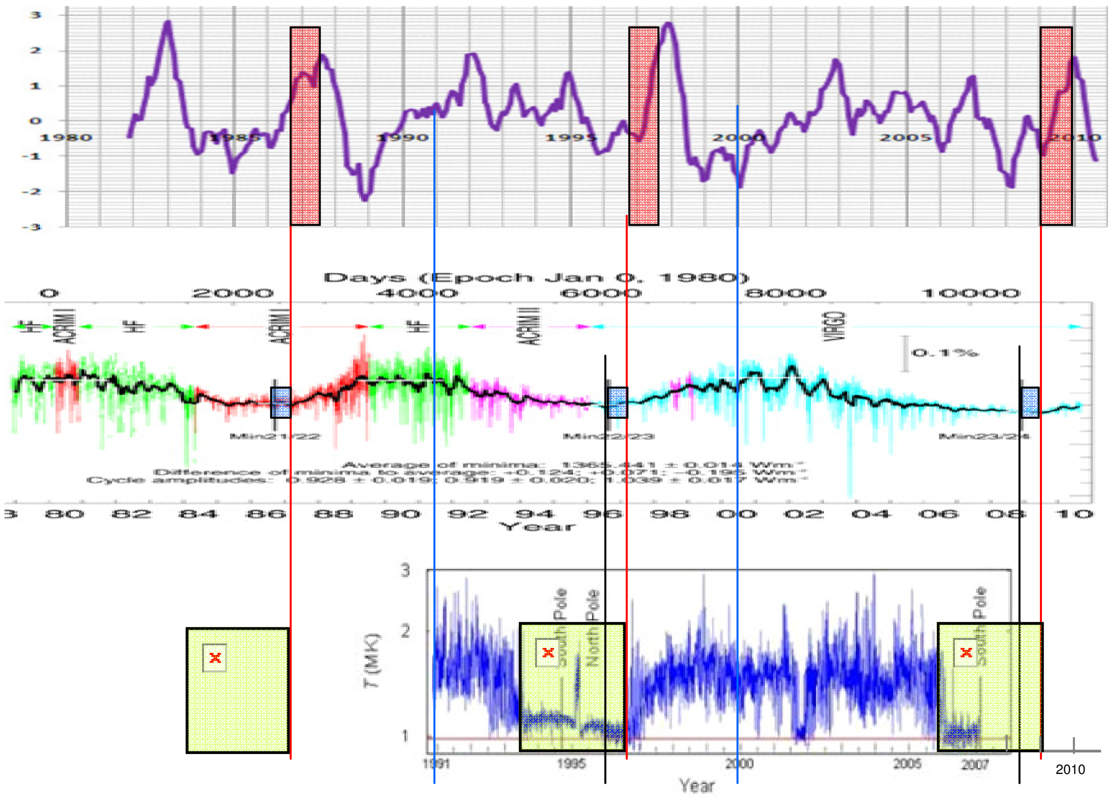


Abbildung 4 zeigt die globale Temperaturentwicklung (Bodenstationen) und die Strahlungsleistung (TSI) der Sonne bis 2000, Quelle: MPS, Solanki. Ab ca. 1980 koppelt sich danach die Temperatur vom TSI ab, wogegen sie bis zu dem Zeitpunkt weitgehend synchron laufen. Doch wie realistisch gibt diese Darstellung die tatsächliche solare Aktivität wieder? Koppelt sich die Globaltemperatur von der solaren Aktivität wirklich ab? Darüber hinaus hatte der Autor Ihnen bereits in früheren Artikeln mitgeteilt, dass der TSI (Total Solar Irradiance) eine Mogelpackung ist, da die Satelliten-Messsysteme lediglich den Wellenbereich zwischen 200 nm und 2.000 nm, also den direkten Strahlungsbereich der Sonne, der auf die Erdoberfläche auftrifft, aufzeichnen und die übrigen Energiebereiche der Sonne einfach ausblenden. Unser Wetter wird aber nicht auf der Erdoberfläche, sondern in der Tropos- und Stratosphäre „gemacht“ und dorthin gelangt ein größeres Wellenlängenspektrum der Sonne. Von „Total“ kann demnach beim TSI keine Rede sein!



Da, wie bereits geschildert, Beobachtungsdaten über die Korona nur vom Weltraum aus möglich sind und Daten nur für den Zeitraum 1991 - 2007 vorliegen, wird die weitere Datenreihe rekonstruiert, wobei die Zeitabstände sowohl beim Koronaminimum (grüne Rechtecke), als beim Zyklusbeginn Schwabe-Zyklus zum Anstieg Koronatemperatur (kleine blaue Rechtecke) jeweils gleich gehalten werden und dann geprüft wird, inwieweit eine El-Niño-Beziehung zur Korona besteht . Abbildung 5 zeigt, dass nach jedem Einschalten der Koronazusatzheizung ein El Niño ausgelöst wird (rote Rechtecke) und zwar innerhalb eines festen Zeitraumes und weiter, nach ca. 11 Monaten der El Niño sein Maximum erreicht.

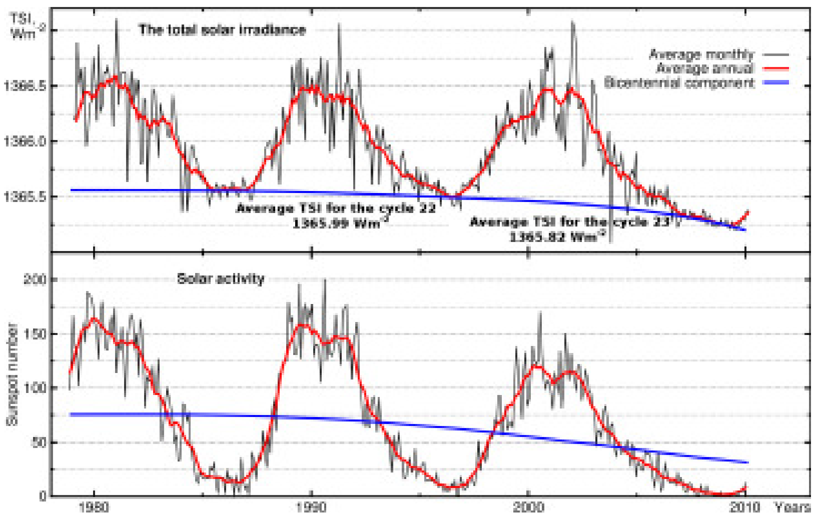


Abbildung 6 (http://www.gao.spb.ru/english/astrometr/index1_eng.html) verdeutlicht, die Sonnenflecken sind nur eingeschränkt zur solaren Aktivität aussagefähig. Während der 23. Zyklus deutlich weniger Sonnenflecken zeigt als seine beiden Vorgänger und dadurch fälschlich abgeleitet wird, die solare Aktivität wäre deutlich niedriger, ist die Höhe der Strahlungsleistung gleich zu seinen Vorgängern. Der Betrag (Flächenintegral) sogar größer.

Die El Niño 3.4-Reihe in Abbildung 5 zeigt, dass im betrachteten Zeitraum, in dem laut IPCC-Anhängern, die Erdtemperaturen von der solaren Aktivität abgekoppelt sein sollen, noch mehr El Niño-Ereignisse stattfanden. Es muss demnach noch mindestens eine weitere solare Aktivität geben, die auf der Erde einen El Niño auslöst. Die Antwort, um welche solare Aktivität

es sich handelt gibt die folgende Abbildung. Es ist die unmittelbare magnetische Aktivität der Sonne, ihr Maximum.

Die folgende Abbildung 7 bringt den El Niño 3.4, der für die Entwicklung der Erdtemperaturen steht, den Total Flux, den TSI und die Korona in Relation zueinander.

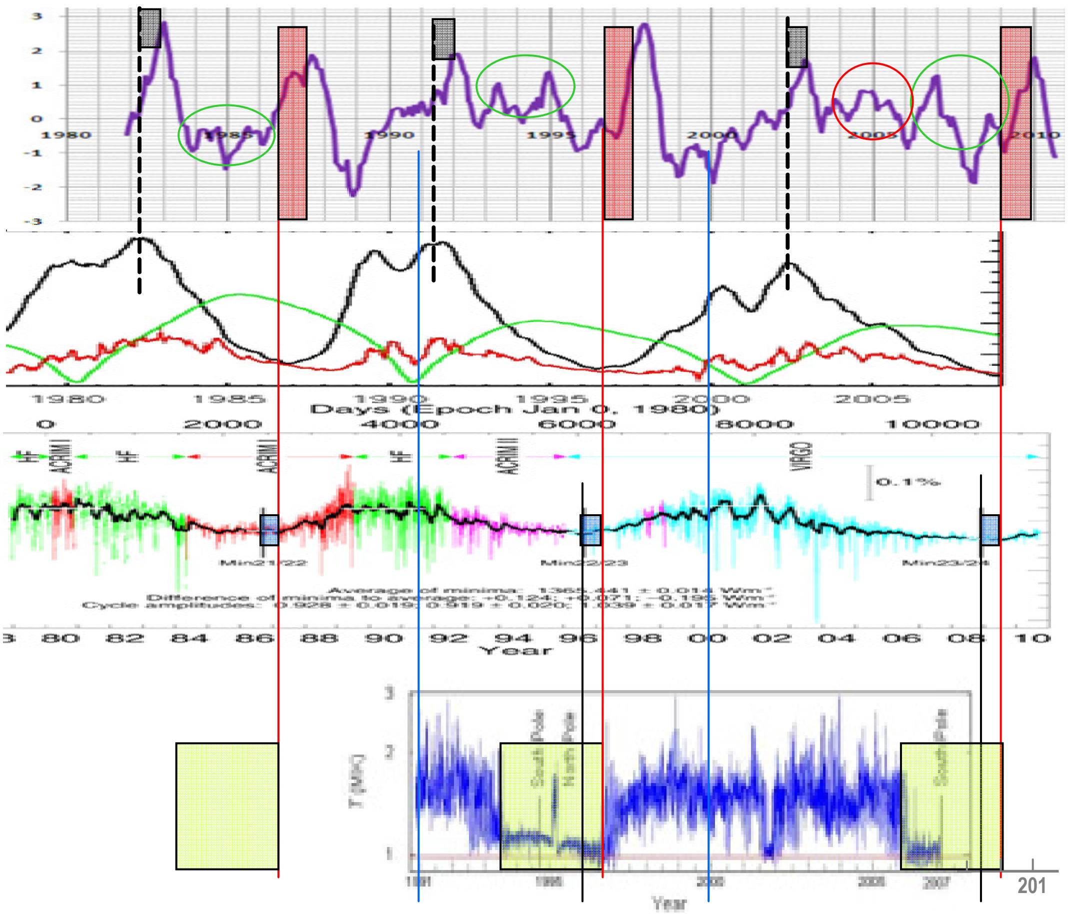


Abbildung 7 zeigt nochmals die Erkenntnisse der vorherigen Seite. Darüber hinaus die magnetische solare Aktivität (zweite Datenreihe von oben, Quelle: Max Planck Gesellschaft http://www.mps.mpg.de/projects/solar-mhd/research_new.html). Wie unschwer festzustellen, wird nach jedem Maximum im Schwabe-Zyklus ebenfalls ein El Niño-Ereignis ausgelöst. Auch hier wird das Maximum im El Niño-Ereignis nach einer exakt festen Zeitspanne erreicht (graue Rechtecke).

Bleibt noch die Frage zu beantworten, was die grün und rot umrundeten schwächeren El-Niño-Ereignisse auslöst. Die Antwort für das rot-umrundete in 2005 lässt der Autor die NASA und zwar deren Sonnenforscher David Hathaway vom September 2005 geben: "Das Solare Minimum explodiert - Das Solare Minimum sieht seltsamerweise aus wie ein solares Maximum" (http://science.nasa.gov/headlines/y2005/15sep_solarminexplodes.htm). Die Antwort für die grün umrundeten zeigt die Datenreihe von der Max Planck Gesellschaft und zwar die grüne Datenreihe, die das magnetische Polarfeld der Sonne zeigt. Der Autor möchte Ihnen dieses anhand der Sonnenwindaktivität weiter belegen.

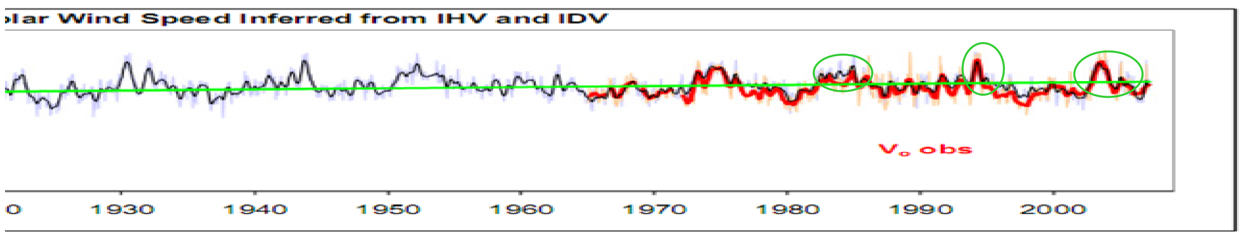


Abbildung 8 zeigt den 27-Tage-Durchschnitt der Sonnenwindgeschwindigkeit in 100 km/s von (Ausschnitt), Quelle: (http://www.leif.org/research/files.htm). Blau, rekonstruiert, rot, direkt gemessene Werte. Wie noch gezeigt wird kommt der schnelle Sonnenwind entweder aus dem Nonaxisymmetric Open Flux, dort von starker solarer magnetischer Aktivität (z.B. Koronale Massenauswürfe, Coronal Mass Ejections (CME)) oder aus den polaren Löchern der Sonne. Deren Aktivität wird durch das Polarfeld der Sonne (grüne Datenreihe von der Max Planck Gesellschaft) bestimmt. Werden nun die dort umrundeten Spitzen (starke magnetische Aktivität des Polarfeldes der Sonne) mit den grün-umrundeten Spitzen in der El-Niño-Datenreihe verglichen, so ist Übereinstimmung festzustellen.

Das Max Planck-Institut für Sonnensystemforschung (MPS) nennt diese Aktivität, Coronal Hole associated storms (“Physikalische Grundlagen des Weltraumwetters – Der Sonnenwind“) folgende Abbildung.

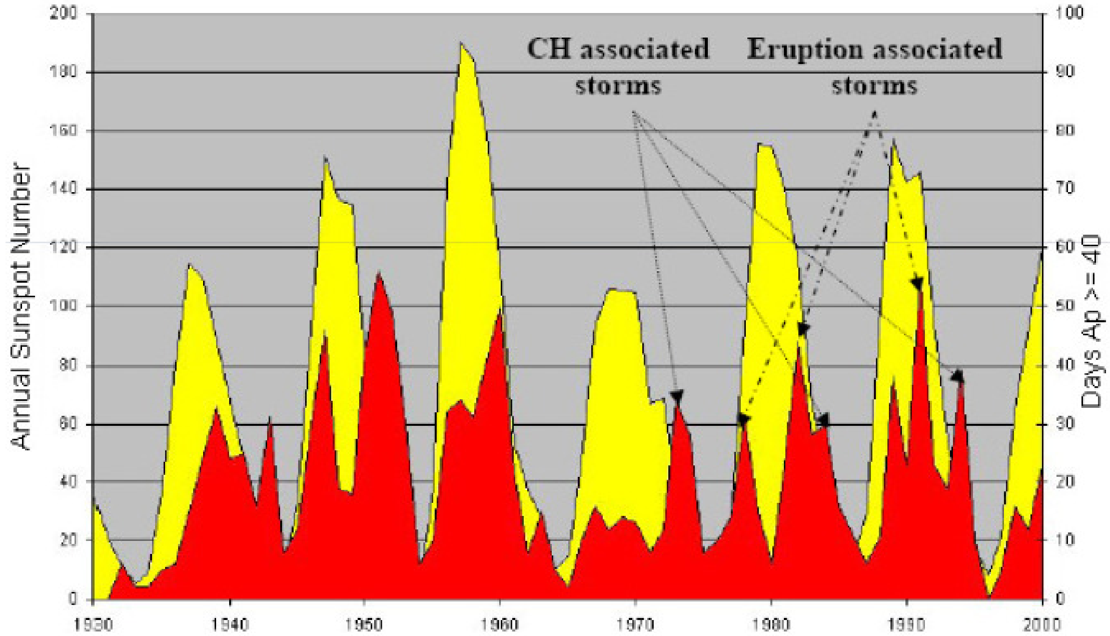


Abbildung 9 zeigt die solare magnetische Aktivität im Zeitraum von 1930 - 2000 (Quelle: MPS).



Abschließend ist festzuhalten, dass El Niño-Ereignisse durch drei solare Ereignisse unmittelbar ausgelöst werden:

1) Dem Einschalten der Koronaturboheizung, wenn deren Temperatur verdoppelt wird

2) Nach jedem Maximum im magnetischen solaren Zyklus.

3) Das Polarfeld der Sonne (schwache El-Niño)

Fehlt noch der „Schulterschluss“ von El Niño, zu den globalen Temperaturen. Dieser ist in Abbildung 11 ersichtlich.

Zur Klimaentwicklung wird meist die globale Temperaturentwicklung herangezogen.

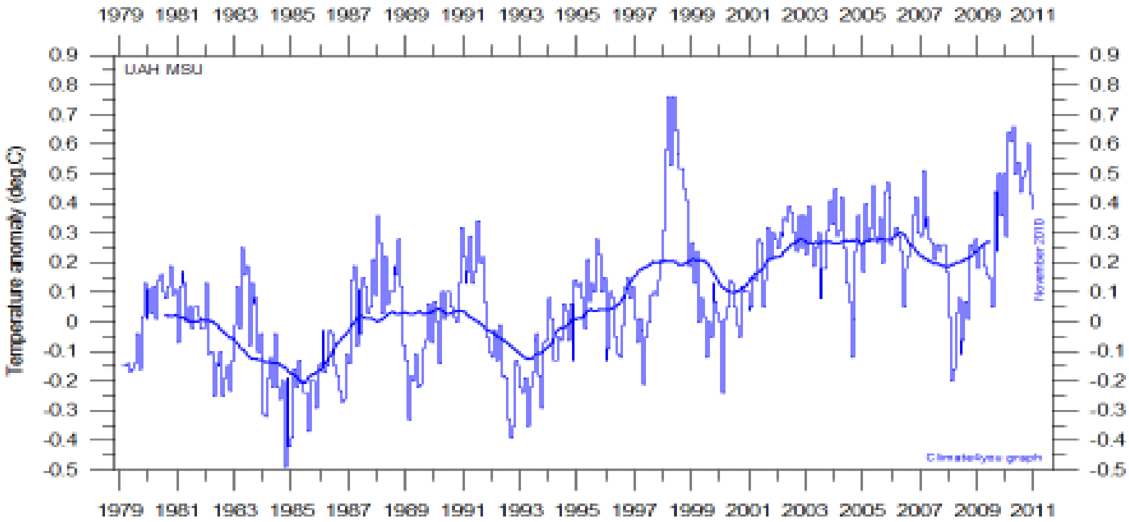


Abbildung 10, Quelle: (http://www.climate4you.com/GlobalTemperatures.htm), zeigt die Temperatur-Messergebnisse der NOAA-Satelliten (UAH, University of Alabama, Huntsville) von Januar 1979 bis Dezember 2010 - Globale Monats- und 3-Jahres (37-Monate-Durchschnitt).

Es gilt nun zu zeigen, dass das Auf-und Ab in der Temperaturdatenreihe und ihr Trend, von den oben genannten Sonnenparametern, die auf den El Niño einwirken, abhängen. Es wird noch gezeigt, wie der Hauptsonnenzyklus, der im Mittel 208 jährige de Vries Suess-Zyklus die Richtung der Sonnenaktivität und damit der Erdtemperaturen vorgibt. El Niño, bzw. sein Gegenpart, La Niña sind Klimaereignisse mit weltweiten Auswirkungen. Für beide gibt es verlässliche Datenreihen. Dass ein starkes El Niño-Ereignis bis nach Europa Auswirkungen hat und dort klirrende Kälte bringt, hat bereits Prof. Brönnimann (ETH-Zürich) nachgewiesen. (Spektrum der Wissenschaft 03/05, “Pazifik ließ Europa frieren"). So war laut WMO 2010 (starker El Niño) ein vergleichsweise warmes Jahr, obwohl Europa unter einem langen und kalten Winter litt und auch der Sommer bei uns „ausfiel“.

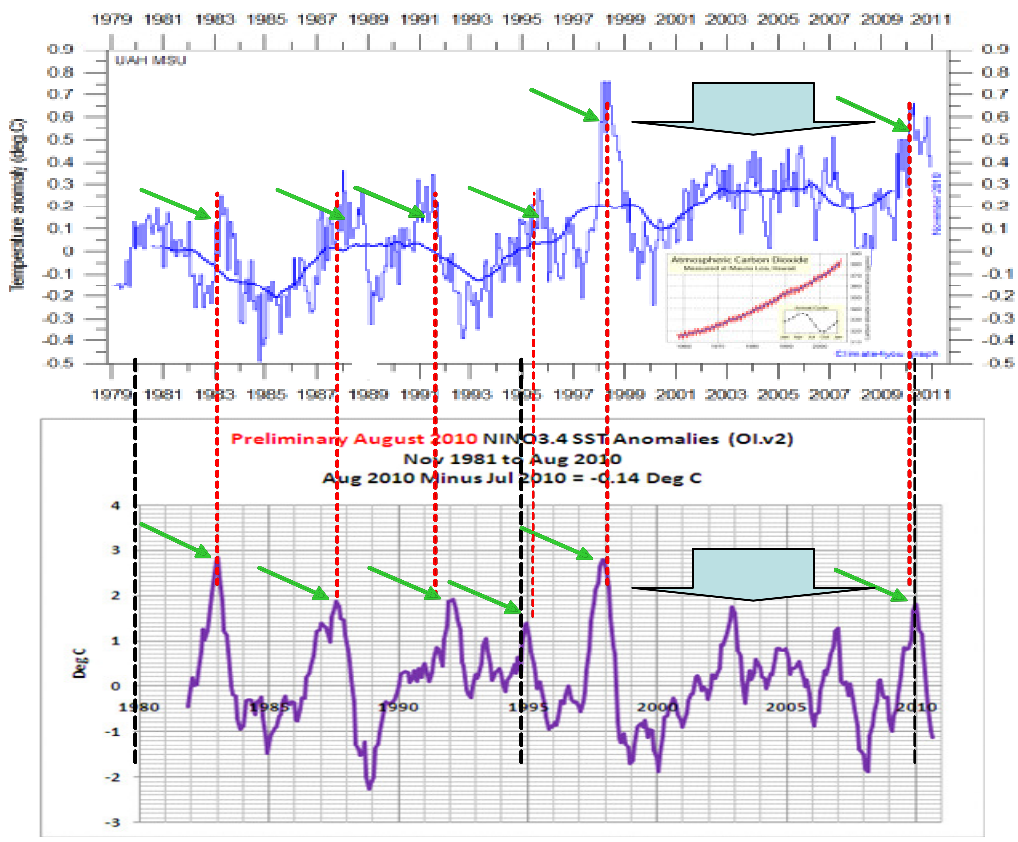


Abbildung 11 oben zeigt die Temperaturdatenreihe aus Abbildung 10. Die kleine Abbildung zeigt die atmosphärische CO_2-Entwicklung nach Mauna Loa, die keinerlei Übereinstimmung mit

dem Temperaturgang aufweist. Die Abbildung darunter zeigt die El Niño-Anomalien (El Niño 3.4) der Wasseroberflächentemperaturen. Jede globale Temperaturspitze in den letzten 30 Jahren fällt mit einem El-Niño-Ereignis exakt zusammen und das bei 8 Ereignissen im Betrachtungszeitraum (grüne Pfeile und Blockpfeil). Die schwarzen Linien dienen zur zeitlichen Justierung der Datenreihen.

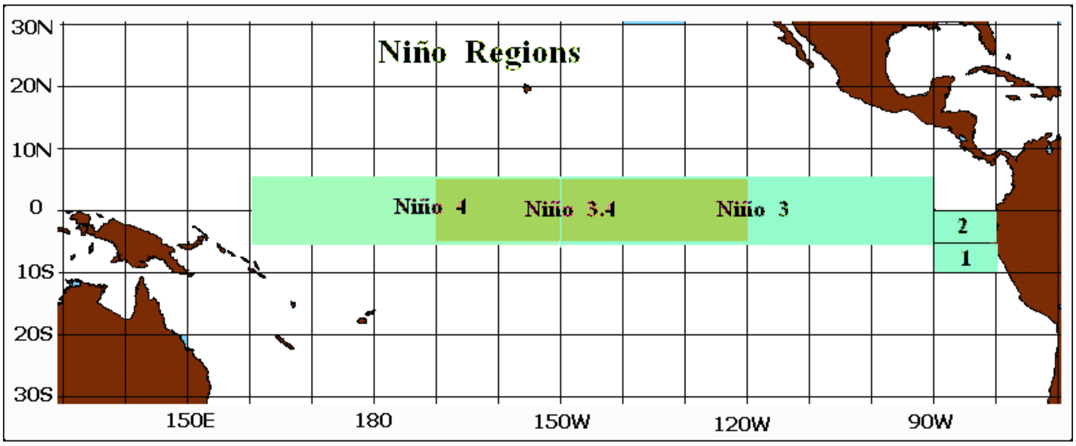


Abbildung 12 zeigt die El Niño-Gebiete.

Die Messdaten zeigen, dass die globalen Temperaturen natürlichen Schwankungen, den El Niño-Ereignissen unmittelbar folgen. Mit CO_2 oder einer angeblichen anthropogenen Erwärmung hat dies nichts zu tun, sondern einzig mit der dynamischen Sonne. Die vorliegenden Korrelationen zeigen, dass alle El Niño-Ereignisse im Betrachtungszeitraum durch die solare Aktivität unmittelbar ausgelöst werden. Sie lassen somit den Schluss zu, dass die globalen Temperaturen einzig auf die Sonne zurückzuführen sind. Auf ihre direkten und indirekten Einflüsse, wie noch gezeigt wird.

Bleibt noch die Frage zu klären, wodurch die gezeigte Sonnenaktivität ihren Einfluss sozusagen umsetzt. Hier geben die Antwort, die Passatwinde (englisch: Trade Winds), also die Großraumwetterlage, die durch die Hadley-Zellen bestimmt wird. Die Passatwinde sind ein beständiges Windsystem, welches sich auf beiden Seiten des Äquators bis zum 24 Breitengrad ausbildet. Es liegt damit im Bereich der Hadley-Zellen und unterteilt sich in den Nordost-Passat (Nordhalbkugel) und in den Südost-Passat (Südhalbkugel). In der Wissenschaft ist unstrittig, dass die Passatwinde durch die Sonne entstehen und ihre Ausbildung und Stärke von der Sonnenscheindauer und -Stärke abhängt. Durch erwärmte, aufsteigende Luftschichten (Tiefdruckgebiet entlang der innertropischen Konvergenzzone) die an der Tropopause vom Äquator weg strömt und ca. 30° Nord oder Süd wieder zu Boden fällt (Hochdruckgebiet) entsteht ein Druckgefälle, wodurch es zu Ausgleichströmungen zwischen den Hoch-/Tiefdruckgebieten kommt. Durch die Corioliskraft werden sie entsprechend abgelenkt.

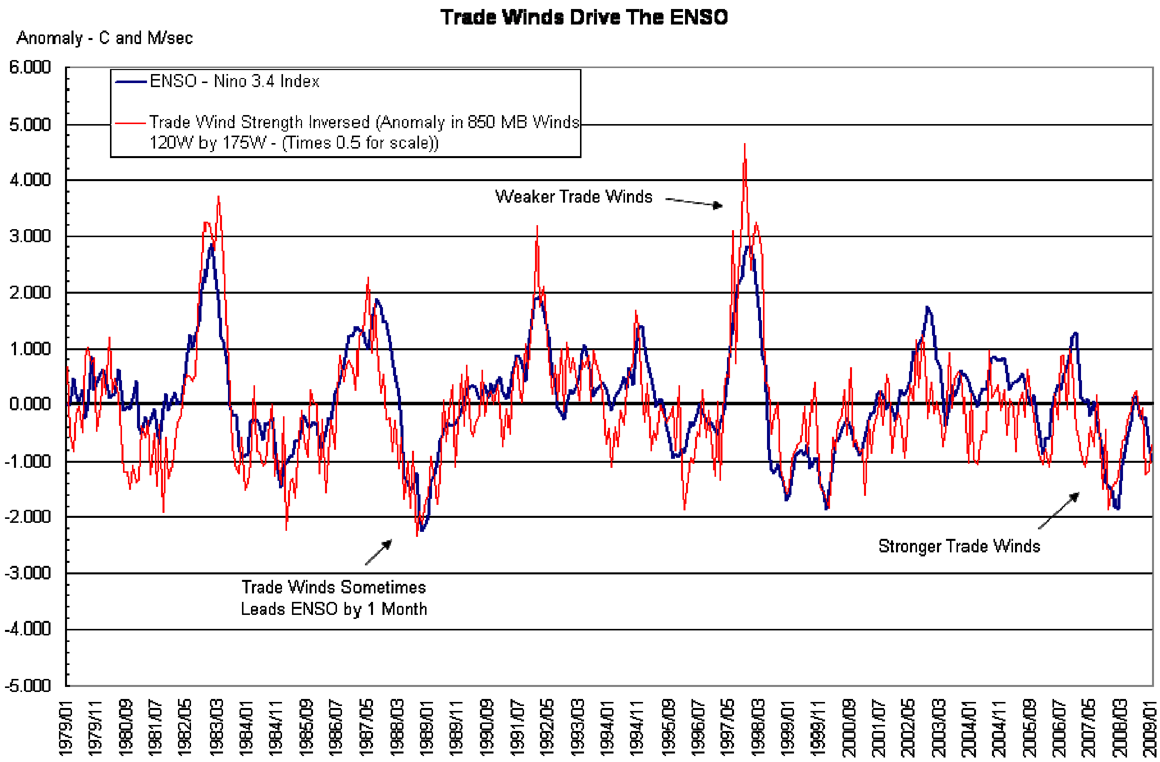


Abbildung 13 (http://wattsupwiththat.com/2009/02/17/the-trade-winds-drive-the-enso/) zeigt die ENSO und die invertierte Windstärke der Passatwinde (Trade Winds). Unschwer ist zu erkennen, dass beide zusammenhängen. Die Passatwinde werden von den Hoch- und Tiefdrucksystemen (neben der Corioliskraft = Erddrehung) bestimmt. Diese wiederum durch die Wolkenbedeckung und dies ist der Ansatzpunkt, wie die Sonne neben ihrer Strahlungsleistung ihren Einfluss auf das irdische Wettersystem umsetzt. Seit Svensmark ist bekannt, wie die solare Aktivität die Bewölkung beeinflusst. Weitere Einflüsse, wie die des Polfeldes (Hale-Zyklus) auf die Wolkenbedeckung werden noch gezeigt.

Raimund Leistenschneider – EIKE

Teil 2 - “Die Sonne, der faszinierende Stern“ in Kürze

Dynamisches Sonnensystem – die tatsächlichen Hintergründe des Klimawandels

In allen Kulturen bestimmte die Sonne den Lauf der Dinge. Schon früh wurde ihre Bedeutung für das Leben auf der Erde erkannt. Noch heute dient „ihr“ Metall, welches „Ihre“ Farbe trägt, als Synonym für Wohlstand und Entwicklung – Gold. In jüngerer Zeit wurde, ähnlich wie die Alchemisten des Mittelalters versuchten, als Eisen Gold zu machen, der Versuch gestartet, diesmal aus Treibhausgasen, wie CO_2, Gold, also die Sonne zu machen. Wie den Alchemisten des Mittelalters, ist dieser Versuch zum scheitern verurteilt. Teil 2 zeigt die variable Sonne auf langen Zeitskalen. Er bewegt sich damit außerhalb des Blickfeldes der Klimaalarmisten, mit deren kurz gerichteten Sichtweise, die begierig auf vermeintliche Katastrophenmeldungen warten, um sie mit einer vermeintlichen anthropogenen Klimaerwärmung zu verknüpfen.

Teil 1 – Die Sonne bestimmt den Temperaturgang
Teil 2 – Die Sonne, der faszinierende Stern
Teil 3 – Sonnenflecken und ihre Ursachen
Teil 4 – Die Sonnenatmosphäre, Korona, Heliosphärische Stromschicht, interplanetares Magnetfeld
Teil 5 – Die variable Sonne
Teil 6 – Der Einfluss der Sonne auf unser Wetter/Klima
Teil 7 – Der Einfluss der Sonne auf die Wolkenbedeckung über Svensmark hinaus
Teil 8 – Zukünftige Temperaturentwicklung und deren Schwankungen


Abbildung 0

Teil 2 – Die Sonne, der faszinierende Stern

Etwa 99,98% des gesamten Energiebetrags der Erde stammt von der Sonne. Der verschwindend kleine Rest kommt aus geothermalen Wärmequellen. CO_2 spielt in der Energiebilanz überhaupt keine Rolle! Die von der Sonne abgegebene Strahlungsenergie stammt sämtlich aus ihrer Kernzone (ca. 25% des Sonnenradius), in der die Fusion abläuft. Sie entsteht aus dem Energieüberschuss, der bei der Fusion von Wasserstoff zu Helium entsteht, da bei der Fusion aus der Wasserstoffmasse knapp 1% weniger Helium entsteht. Die emittierte Energie besteht hauptsächlich aus Photonen, aber auch aus Neutrinos, wobei die Neutrinos die

Kernzone unmittelbar verlassen, die Photonen durch Wechselwirkung mit dem Plasma hierzu im Mittel ca. 10 Mio. Jahre benötigen.

Die Sonne steigert als sog. Hauptreihenstern ihre Strahlung alle 100 Mio. Jahre um ca. 1%. Bei der Kernfusion entsteht aus 4 Wasserstoffatomen ein Heliumatom, welches etwa die Masse der 4 Wasserstoffatome hat (minus dem geringen Rest, der bei der Fusion nach der Einstein-Formel in Energie umgewandelt wird). Die Zahl der Atome nimmt dadurch im Kern langsam ab. Eine geringere Anzahldichte der Atome kann nicht genauso viel Gegendruck im Sonnenzentrum erzeugen wie die Wasserstoffatome zuvor, wodurch sich das Sonnezentrum weiter zusammenzieht und sich Druck und Dichte dadurch so lange erhöhen, bis der Druck gegen die Gravitation der darüber liegenden Schichten wieder im Gleichgewicht ist – die Schichten tragen kann. Die höhere Dichte und Temperatur im Sonnenzentrum bewirken eine schnellere Kernfusion. Die äußeren Schichten der Sonne werden dadurch vergrößert und die Sonnenleuchtkraft steigt an. Die energieabstrahlende Oberfläche vergrößert sich. Die folgenden Abbildungen und Erläuterungen geben einen Einblick in die Klassifizierung und den Lebenszyklus der Sonne.

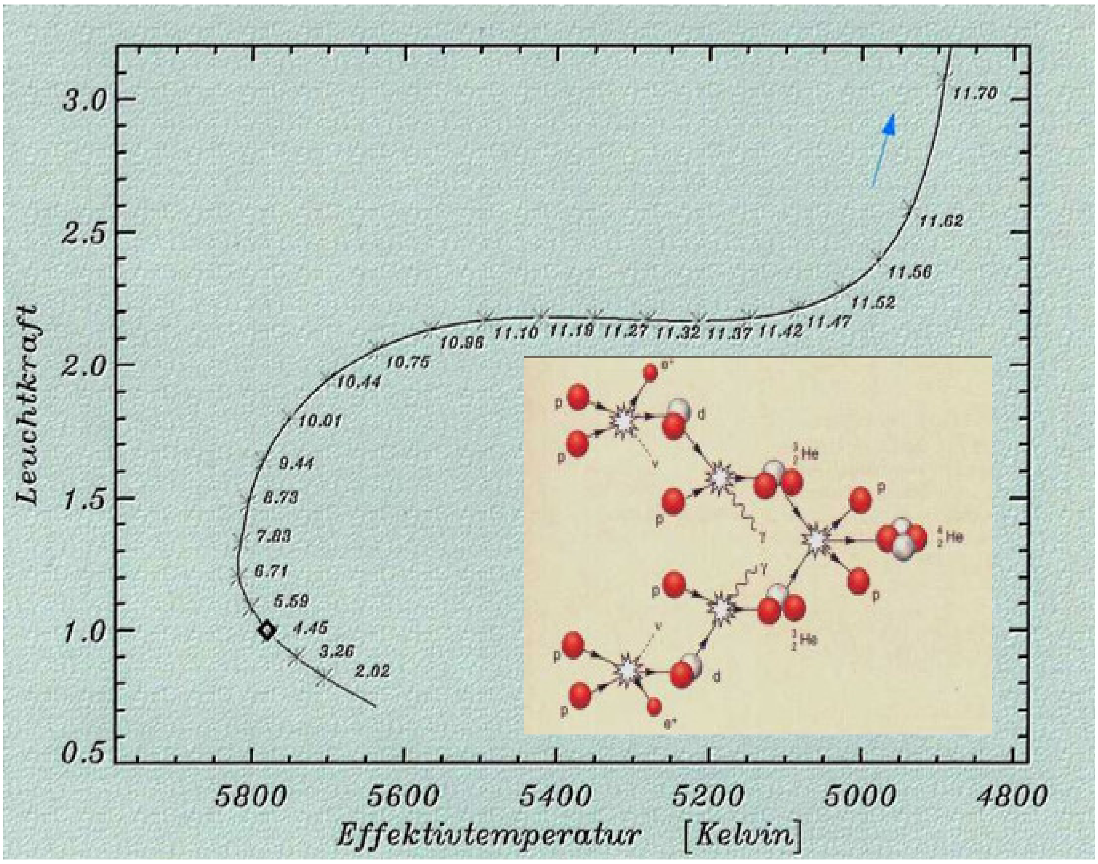


Abbildung 14 zeigt, wie sich im Lebenszyklus der Sonne ihre Leuchtkraft ändert.

Sowohl Temperatur und Leuchtkraft der Sonne ändern sich ständig als Ergebnis der Kernfusion. Der sich daraus ergebene Verlauf zeigt Abbildung 14. Die Zahlen bedeuten das Alter der Sonne in Milliarden Jahren. Der heutige Wert ist durch ein diamantenes Symbol gekennzeichnet. Quelle: (http://www.la-palma-aktuell.de/astro/la_palma_astrophysik07.shtml). Die kleine Abbildung zeigt die Proton-Proton-Reaktion über Deuterium zu Helium, wie sie im Innern der Sonne abläuft.

Hauptreihenstern "Sonne"

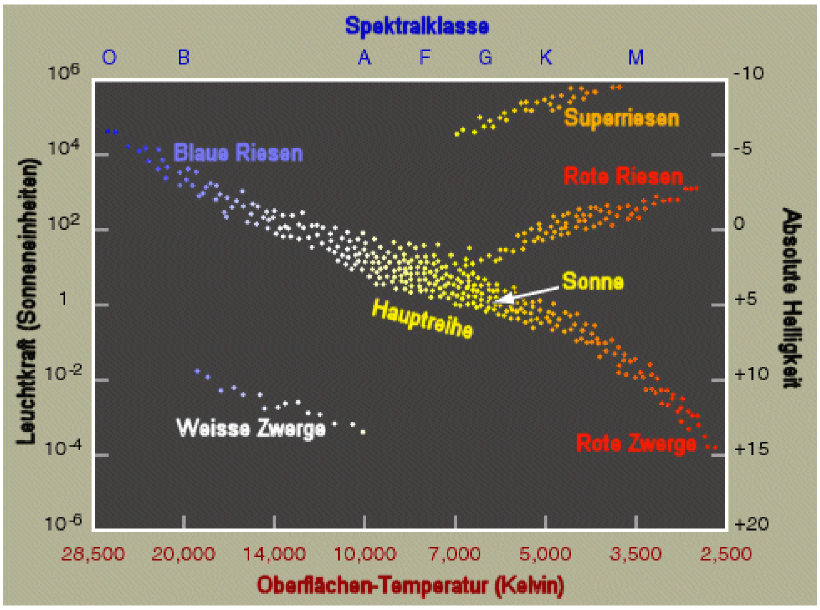


Abbildung 15a zeigt die Einstufung der stellaren Objekte im Hertzsprung-Russell-Diagramm, nach ihrer Leuchtkraft und Spektralklasse. Die Spektralklasse ist in der Astronomie eine Klassifizierung der stellaren Objekte nach dem Aussehen ihres Spektrums. Mit dem obigenDiagramm lässt sich die Entwicklungsverteilung der stellaren Objekte aufzeigen. Die Sonne ist dabei der Hauptreihe und der Spektralklasse G zugeordnet. Exakt der Klasse G2.

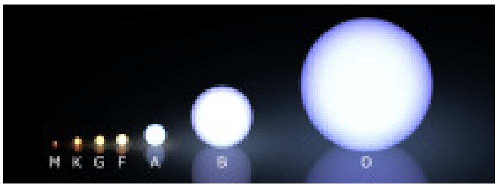


Abbildung 15b zeigt den Größenvergleich der stellaren Objekte in den jeweiligen Spektralklassen nach “Morgan-Keenan“ (MK-System).

Entwicklungsphasen der Sonne

Die Sonne entwickelte sich vor ca. 4,6 Milliarden Jahren in einem Spiralarm am Rande unserer Galaxie aus einer Gas- und Staubwolke. Die Gas- und Staubwolke bestand zu etwa 82% aus Wasserstoff, zu 17% aus Helium und zu 1% aus anderen Elementen. Materieteilchen kamen sich so nahe, dass sie durch ihre gegenseitige Massenanziehung zu verklumpen begannen.

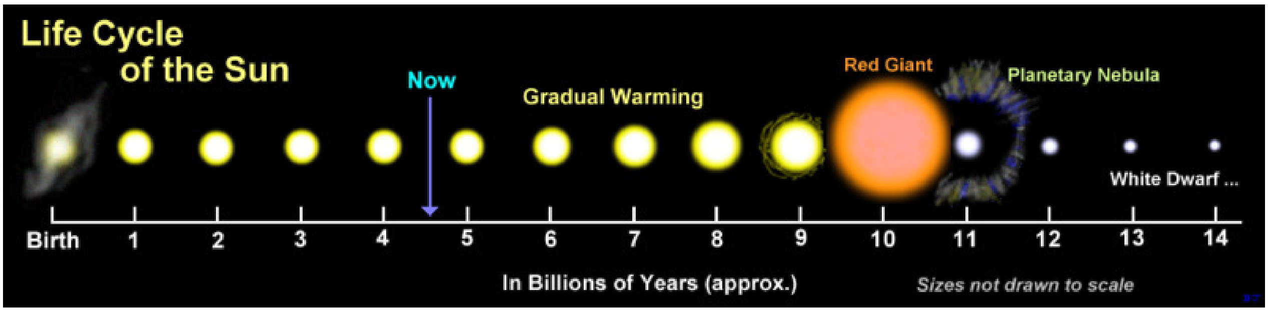


Abbildung 16 zeigt die Entwicklungsphasen (Lebenszyklus) der Sonne. Nachdem sie vor ca. 4,6 Milliarden Jahren mit der Zündung der Kernfusion in ihrem Innern entstanden ist, wirkte der Strahlungsdruck der Kontraktion der Sonne, hervorgerufen durch ihre Schwerkraft, entgegen, so dass sich ein Gleichgewicht einstellen konnte und die Sonne das Stadium eines Hauptreihensterns erreichte, in dessen Phase sie ca. 11 Milliarden Jahre verbleibt.

Die Supernovae eines Roten Überriesen (massereicher Stern mit 10 - 50 Sonnenmassen) am Rand der Galaxie, schleuderte vor ca. 4,6 Milliarden Jahren in diese Wolke große Mengen

schwerer Elemente, wie Silizium und Eisen, wodurch die Gas- und Staubwolke kollabierte. Unter der Schwerkraft begann sie sich langsam zu verdichten und durch die Schockwellen (Impuls) der Supernovae zu drehen. In ihrem Zentrum wurde die Wolke immer dichter komprimiert, wodurch Druck und Temperatur immer weiter anstiegen. Dies bewirkte, dass große Energiemengen in Form von Strahlung abgegeben wurden. Ein Protostern war entstanden.




Die Abbildungen zeigen exemplarisch zwei galaktische Wolken, in denen derzeit Sterne entstehen. Abbildung 17 links zeigt den 1.500 Lichtjahre (LJ) entfernten Pferdekopfnebel mit einem Durchmesser von 3 LJ. Abbildung 17 rechts, den 7.000 LJ entfernten Adlernebel mit einem Durchmesser von 20 LJ (NASA).

Durch weitere Verdichtung der Teilchen im Zentrum, wurde die elektro-magn. Abstoßung der Teilchen überwunden und die Protonen verschmelzten miteinander. Die Kernfusion hatte eingesetzt. Aus dem Protostern ist ein Stern entstanden - die Sonne. Bei der Entstehung des Sonnensystems wurden über 99% der Materie in der Sonne gebunden. Aus dem Rest bildete sich durch immer schnellere Drehung eine abgeflachte Scheibe, aus der sich zuerst Ringe, dann Protoplaneten und schließlich die Planeten mit ihren Monden bildeten.

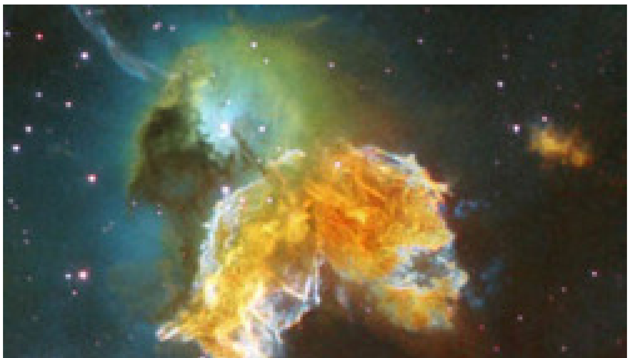
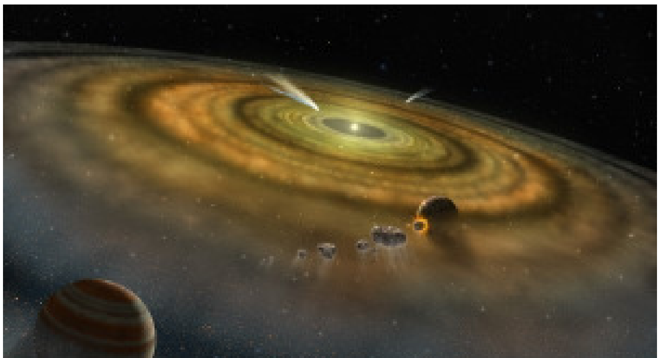



Abbildung 18a links zeigt die Überreste der Supernovae LMC N 63A in der Großen Magellanschen Wolke, unserer Nachbargalaxie. Es ist deutlich zu sehen, dass Elemente weit im Universum verteilt werden. Abbildung 18b rechts zeigt in bildhafter Darstellung eine Planetenentstehungsscheibe, beides Quelle: NASA.

Die Strahlungsleistung der Sonne war in den ersten Milliarden Jahren deutlich geringer als heute. Vor zwei Milliarden Jahren betrug sie nur ca. 80% ihres heutigen Wertes, so dass im Erdzeitalter Archaikum und Proterozoikum weite Teile der Erde mit Eis überzogen waren (Abbildung 19, Quelle: Cornell University).

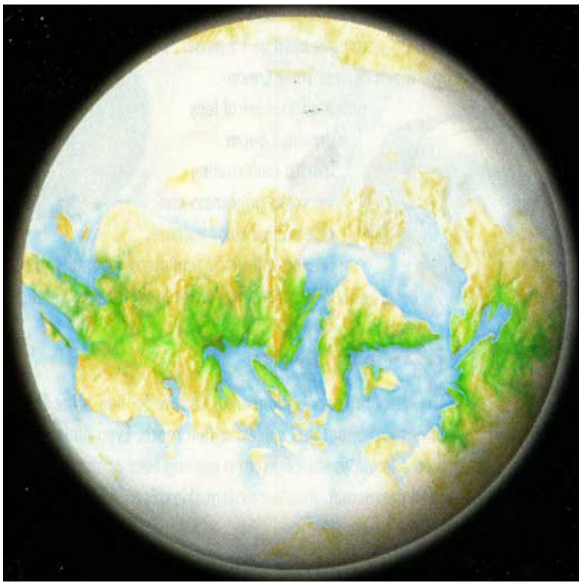


Abbildung 19

Im Alter von 5,5 Milliarden Jahren, das heißt in 900 Millionen Jahren ab heute, überschreitet die mittlere Temperatur auf der Erdoberfläche den für höhere Lebewesen kritischen Wert von 30°C (Bounama, 2004). 1 bis 2 Milliarden Jahre später, werden 100°C erreicht.

In ca. drei Milliarden Jahren werden Milchstraße und Andromeda (unsere etwas größere Nachbargalaxie in 2,2 Mil. LJ Entfernung) mit einer Geschwindigkeit von über 430.000 Stundenkilometern zusammen stoßen und schließlich miteinander verschmelzen. Als Ergebnis entsteht eine neue, ellipsenförmige Galaxie. Nach Berechnungen könnte die Sonne mit ihren Trabanten am Rand der neuen Supergalaxie ihr Dasein finden. Sie könnte jedoch auch durch den kosmischen Crash zerfetzt, oder das Planetensystem durch das galaktische Inferno auseinander gerissen werden.



Abbildung 20a links zeigt die 2,2 Millionen Lichtjahre entfernte Andromeda-Galaxie. Sie ist wie die Milchstraße, eine ausgedehnte Balkengalaxie, Quelle: NASA. Die Abbildung 20b rechts zeigt in künstlerischer Darstellung, wie sich von der Erde aus das Himmelsspektakel in ca. 3 Milliarden Jahren abzeichnet, Quelle: James Gitlin/STScI (**S**pace **T**elescope **Sc**ience **I**nstitute).

Galaktische Crashs ganzer Galaxien sind nichts Ungewöhnliches, sondern kommen im Weltall immer wieder vor. In der Frühzeit des Universums waren solche Crashs „an der Tagesordnung".



Abbildung 21 zeigt die beiden kollidierenden Galaxien NGC 2207 und IC 2163 (Entfernung: 144 Mio. LJ), Quelle: NASA. NGC steht für "**N**ew **G**eneral **C**atalogue of Nebulae and Clusters of Stars" und IC für "**I**ndex-**C**atalog".

Überleben die Sonne und das Planetensystem diesen kosmischen Crash, werden sich in ca. 6,4 Milliarden Jahren die Leuchtkraft der Sonne verdoppelt und ihre Größe auf das 1,6-fache ihres heutigen Wertes gesteigert haben. Die Erde ist in ihrem Innern nicht mehr flüssig und dadurch gibt es kein irdisches Magnetfeld mehr, welches die starke Sonnenstrahlung abdämpfen könnte und als Filter für Röntgen- und UV-Strahlung, den Sonnenwind wirkt. Die Erde verliert dadurch schnell ihre mittlerweile heiße Atmosphäre.

Der Wasserstoff im Sonnenkern wird in etwa 5 Milliarden Jahren verbraucht sein. Das ausgebrannte Helium-Sonnenzentrum (der sog. Heliumkern) kontrahiert zunehmend und heizt sich so lange auf, bis um das Heliumzentrum herum die Kernfusion des dort noch reichlich vorhandenen Wasserstoffs zu Helium einsetzt. Dies wird als **Wasserstoff-Schalenbrennen** bezeichnet. Dabei erzeugt die Sonne immer mehr Energie, je mehr das Heliumzentrum kontrahiert und je weiter sich die Wasserstoff-Fusionsschale nach außen frisst. In 6,4 Milliarden Jahren ist die Leuchtkraft bereits doppelt so hoch wie heute, und der Sonnenradius ist um ca. 60% größer als heute. In den folgenden 1,3 Milliarden Jahren wachsen Leuchtkraft und Sonnenradius weiter massiv an. In etwa 7,4 Milliarden Jahren wird von der Erde aus folgendes Bild (rechts, nächste Seite) zu sehen sein.



Abbildung 22b rechts zeigt die Sonne als roter Riese in künstlerischer Darstellung über der Erdoberfläche und links im Vergleich, die heutige Sicht.

Nach weiteren 200 Millionen Jahren erreicht die Leuchtkraft den tausendfachen heutigen Wert und die äußeren Schichten blähen sich um das Hundertfache auf, so dass trotz der größeren Leuchtkraft die Temperatur der Sonnenoberfläche abnimmt und das Sonnenlicht rötlich wird. Die Sonne hat sich zu einem roten Riesen entwickelt. Alles Wasser auf der Erde wird längst verdampft sein. Die folgende Abbildung gibt einen Größenvergleich von der Ausdehnung der Sonne.

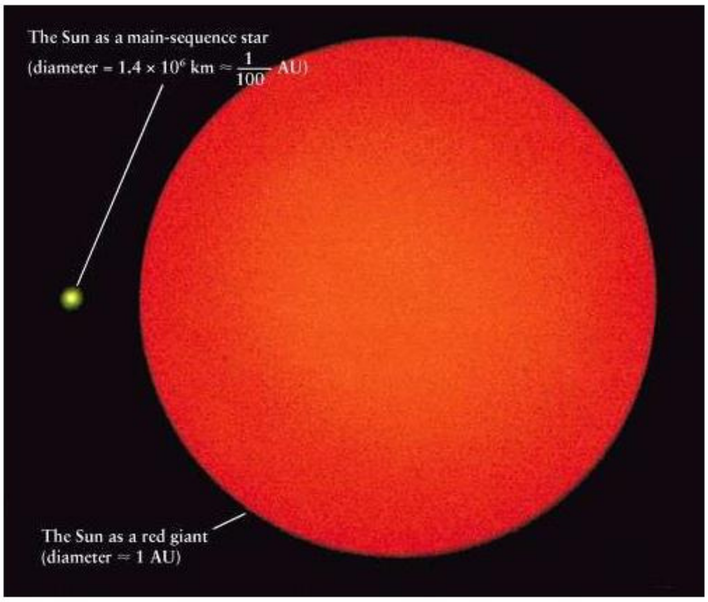


Abbildung 23 zeigt die Sonne heute (der kleine gelbe Punkt, links) im Vergleich zur Sonne als rotem Riesenstern rechts mit einem Durchmesser von 1 AE (Astronomische Einheit = Abstand Erde – Sonne). Die Sonne reicht damit fast bis zur heutigen Erdbahn.

Während der Entwicklung der Sonne zum roten Riesen, kontrahiert der ständig wachsende Heliumkern unter dem Einfluss der Schwerkraft immer mehr und wird dabei immer dichter und heißer. Schließlich bilden die Elektronen im Heliumkern bei großer Dichte ein sog. "entartetes Fermi-Gas", das ähnlich einer Flüssigkeit zunächst nicht weiter zusammengedrückt werden kann.

Die Temperatur wird den sehr hohen Wert von 100 Millionen Kelvin im Heliumzentrum erreichen und noch überschreiten (das heutige Sonnenzentrum hat etwa 15 Millionen Kelvin). Bei dieser Temperatur (und Druck) zündet die Heliumfusion, bei der Helium zu Kohlenstoff fusioniert.

Das Helium im Sonnenzentrum wird im sog. Helium-Flash explosionsartig in Kohlenstoff umgewandelt. Innerhalb einiger Minuten wird dabei eine Energie von der Größenordnung einer kompletten Milchstraße erzeugt. Die Energie gelangt jedoch nicht das außen, sondern wird dazu benötigt, dass entartete Zentrum (Fermi-Gas) aufzuheben. Das Heliumzentrum dehnt sich dabei aus. Das übrige Helium im Sonnenzentrum fusioniert langsam zu weiterem Kohlenstoff und teilweise fusioniert auch Kohlenstoff mit weiterem Helium zu Sauerstoff.

Während dem Helium- und Wasserstoff-Schalenbrennen schrumpft die Sonne aufgrund des nachlassenden Gegendrucks zur Gravitation wieder auf ca. ihren 10-fachen heutigen Wert. Aus der roten Riesensonne wird eine kleinere weiße Riesensonne, ein sog. "Horizontalast-Stern". Für eine gewisse Zeitspanne als Horizontalast-Stern pulsiert sie dabei sogar. Sie ist dann ein "RR-Lyrae-Stern" (diese verändern ihre Leuchtkraft streng periodisch und sind nach dem Referenzstern "RR Lyrae" im Sternbild Lyra benannt). Nach weiteren 100 Millionen Jahren ist auch das Helium im Zentrum verbraucht und in Kohlenstoff und Sauerstoff umgewandelt. Das Kohlenstoff-Sauerstoff-Zentrum kontrahiert bis auf Erd-Größe, wobei mehr als die Hälfte der gesamten Sonnenmasse sich in diesem sehr kompakten heißen Zentrum konzentriert.

In dem viel dünneren Gas darüber bildet sich eine Helium-Fusionsschale, über der weiterhin die Wasserstoff-Fusionsschale brennt. Die äußeren Schichten der Sonne blähen sich insgesamt wieder stark auf und kühlen ab. Es entsteht erneut für kurze Zeit (etwa 20 Millionen Jahre) ein roter Riese, der sogar noch größer ist als zuvor – etwa 200-mal größer als die heutige Sonne und mit der 5.000-fachen Leuchtkraft. Damit reicht die Sonne über die heutige Erdbahn. Aufgrund des Masseverlustes der Sonne durch den starken Sonnenwind und der damit verringerten Schwerkraft, könnte sich nach Modelrechnungen die Erde von der Sonne auf etwa den 1,7-fachen Abstand von heute entfernen.

Die Wanderung der Helium-Fusionsschale nach außen lässt die rote Riesensonne schließlich instabil werden. Über einen Zeitraum von etwa 500.000 Jahre bläst die Sonne in mehreren heftigen Zuckungen (sog. "Helium-Flashs") große Teile der äußeren, nur noch schwach gravitativ gebundenen Sonnenschichten (sie befinden sich relativ weit vom Massekern entfernt) in den Weltraum hinaus und legt ihren inneren, erdgroßen Kern frei.

Durch diesen Prozess verliert sie praktisch das gesamte noch unverbrauchte Brennmaterial, insgesamt etwa 1/3 ihrer Masse. Die sich ausdehnende Gas- und Staubwolke wird als "planetarischer Nebel" bezeichnet, der aber nichts mit Planeten zu tun hat. Die Bezeichnung hat ihren Ursprung, dass diese Nebel typischerweise in früheren Teleskopen ein ähnliches Aussehen wie Gasplaneten aufweisen. Im Vergleich zur Lebensspanne der Sonne existieren planetarische Nebel nur sehr kurz, meist nicht länger als einige 10.000-Jahre. In unserer Galaxie sind rund 1.500 planetarische Nebel bekannt. Abbildung 24 zeigt einige planetarische Nebel.

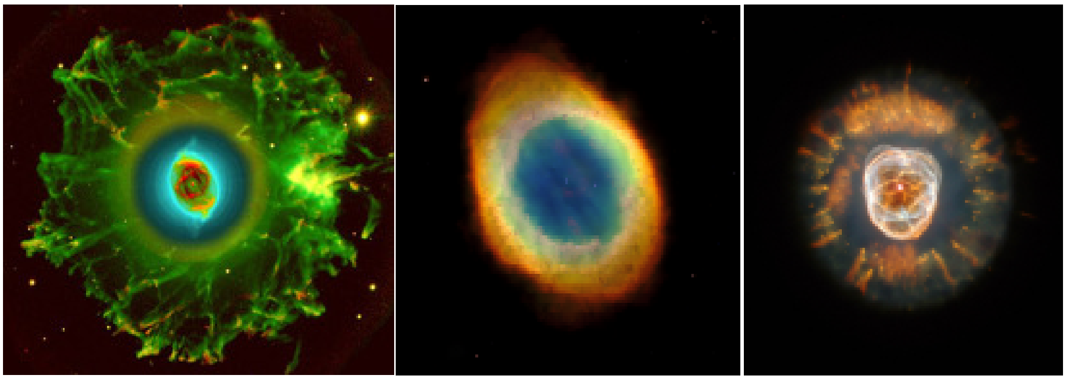


Abbildung 24 links zeigt den Katzenaugennebel (NGC 6543) im Sternbild Drache in einer Entfernung von ca. 3.300 Lichtjahren. Die mittlere Abbildung den wohl bekanntesten planetarischen Nebel, den Ringnebel im Sternbild Leier (NGC 6720, Entfernung 4.100 Lichtjahre) und die rechte Abbildung den Eskimo-Nebel (NGC 2392) im Sternbild Zwillinge, in einer Entfernung von 2.900 Lichtjahren.

Das übrig gebliebene sehr heiße nackte Sonnenzentrum aus Kohlenstoff und Sauerstoff nennt man einen "weißen Zwerg". Obwohl er nur so groß wie die Erde ist, umfasst er etwa die Hälfte der ursprünglichen Sonnenmasse. Die Teilchendichte in einem weißen Zwerg ist so hoch, dass ein Kubikzentimeter seiner Masse im irdischen Gewichtssystem ca. 1 Tonne wiegt.



Abbildung 25: Der von der Sonne übrig gebliebene weiße Zwerg, der nur noch die Größe der Erde aufweist, hüllt die Erdoberfläche in ein fahles Licht. Eine Fusion findet auf der übrig gebliebenen Sonne nicht mehr statt. Sie leuchtet, weil sie eine Oberflächentemperatur von über 100.000°C aufweist, die im Verlauf der kommenden Jahrmilliarden langsam abnimmt. Ihre übrig gebliebene Masse von ca. 50% der alten Sonnenmasse reicht aus, um die Erde an sich zu binden. Dass auf der Erde wieder Leben entstehen kann, ist ausgeschlossen.

Nach diesem Ausflug in die Zukunft (die Szenarien entstanden nach Erkenntnissen der Astrophysik und fassen den heutigen Wissensstand grob zusammen), zurück in die Gegenwart, wie die dynamische Sonne auf kleineren Zeitskalen, heute und in jüngster Vergangenheit, Wetter und Klima auf der Erde beeinflusst und weiterhin moderiert. Hierzu betrachten wir die Sonne in ihrem Innern.

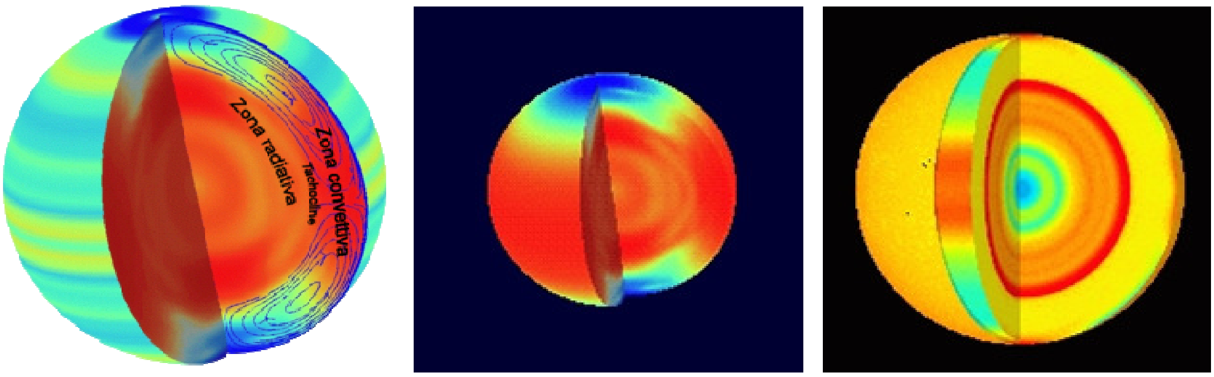


Abbildung 26 zeigt akustisch gemessene Fluktuationen und Wirbel im Sonneninnern (links und Mitte), bzw. gemessene Temperatur-/Dichteänderungen in der Sonne (rechts), Quelle: SOHO. Die Sonne ist kein statisches Gebilde. Ihre Energieschwankungen und deren Auswirkungen auf die Erde auf kleinen Zeitskalen sind ganz beträchtlich, wie in den folgenden Teilen gezeigt wird.

Bisher wurde ausschließlich die Fusionsleistung der Sonne betrachtet. Darüber hinaus strahlt die Sonne magnetisch erzeugte Energie ins Weltall ab. Während die Fusionsleistung auf kurzen Zeitskalen relativ konstant ist, variiert die magnetische Aktivität der Sonne ganz erheblich und steuert damit unsere Wettersysteme, wie bereits im Teil 1 gesehen und damit unser Klima. Hierzu mehr im Teil 3.

Raimund Leistenschneider – EIKE

Teil 3 in Kürze

Dynamisches Sonnensystem – die tatsächlichen Hintergründe des Klimawandels

Sonnenflecken sind die wohl bekanntesten Gebilde auf der Sonne und das sichtbare Zeichen, für eine sich stetig verändernde Sonnenaktivität. Sie sind sichtbar, weil ihre Oberflächentemperatur ca. 1.500 - 2.000 Kelvin kälter als die 5.800 Kelvin heiße Sonnenoberfläche ist. Sonnenflecken werden in Größenklassen eingeordnet, wobei einige so groß sind, dass sie mit bloßem Auge sichtbar sind. Erste Beobachtungen gehen auf das 4. und 5. Jahrhundert v.Chr. in Griechenland und Kleinasien zurück. Sonnenflecken sind Ausdruck einer unruhigen, sich ständig veränderten Sonne und passten damit nicht ins katholisch verordnete Weltbild des Mittelalters, dass eine reine und makellose Sonne verordnete, so dass Beobachtungen aus dieser Zeit entweder verschwiegen oder falsch interpretiert wurden. Heute hat es den Anschein, dass die verordnete Religion des anthropogenen Mittelalters, Entschuldigung, der anthropogenen Erwärmung, wieder das Bild einer „makellosen" Sonne zeichnen möchte, da diese ansonsten dass gezauberte Bild einer menschengemachten Erwärmung schnell als das entlarvt, was es ist, ein Rückfall in die Zeiten vor der Aufklärung, die wir solchen Streitern wie Martin Luther oder Isaac Newton zu verdanken haben. Nicht umsonst kommt die Sonne in den Postulaten des IPCC zur Erderwärmung nicht vor oder genauer gesagt, vernachlässigbar vor. Eine absurde Vorstellung für jeden, der schon einmal die Sonne unter freiem Himmel wahrgenommen hat! Dieser Teil zeigt, wodurch diese sichtbaren Zeichen der solaren Aktivität entstehen und wie sie das Klima auf der Erde mit beeinflussen. Denn Aufklärung ist in der heutigen Zeit (wieder) so wichtig wie im Mittelalter, weil damals wie heute versucht wird, der Bevölkerung, ein Angstmachendes Bild eines Teufels zu verkaufen, um dann die vermeintliche Sünde durch Ablasshandel zu mindern.

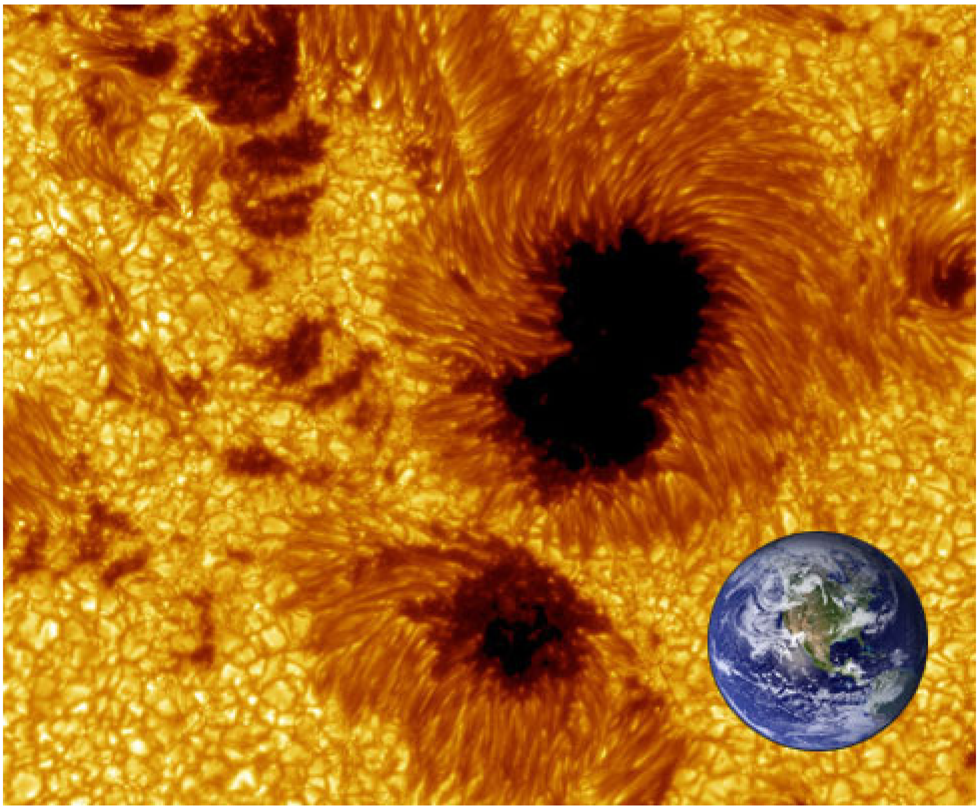


Abbildung 0

Teil 3 - Sonnenflecken und ihre Ursachen

Der magnetische Zyklus wird Hale-Zyklus (der Astronom George Hale maß Anfang des 20. Jahrhunderts erstmals Magnetfelder in den Sonnenflecken) genannt und beträgt 22,1 Jahre. Dies ist der eigentliche Zyklus der Sonnenfleckenaktivität. Das Hale Polaritätsgesetz besagt, dass Sonnenflecken in bipolaren Gruppen auftreten, in denen der führende Fleck die gleiche Polarität hat wie die Hemisphäre, in der er auf tritt. Fleckengruppen setzen sich aus nordmagnetischen und südmagnetischen Flecken zusammen, die bipolar angeordnet sind (Abbildung 27).



Abbildung 27 zeigt, die bipolare Anordnung der Sonnenflecken.

Während eines 11-jährigen Zyklus (Schwabe-Zyklus: 8 - 15 Jahre) laufen bei der Rotation der Sonne entweder die Nordpole oder die Südpole ständig voraus. Nach 11 Jahren kehrt sich diese Polarität um. Es vergehen also zwei 11-jährige Zyklen, bis die gleiche Anordnung wieder erscheint. Wie aus Untersuchungen bekannt, zeichnet sich der Hale-Zyklus auf der Erde z.B. deutlich ab in der Lufttemperatur Mittelenglands und im Dürre-Index der U.S.A. ab (http://www.ldeo.columbia.edu/edu/dees/V1003/lectures/culture_climate/).

Der renommierte Astrophysiker **H.W. Babcock** (Gold Medal of the Royal Astronomical Society) hat 1961 die Dynamotheorie, zum Verständnis der Sonnenflecken und Magnetfelder präsentiert.

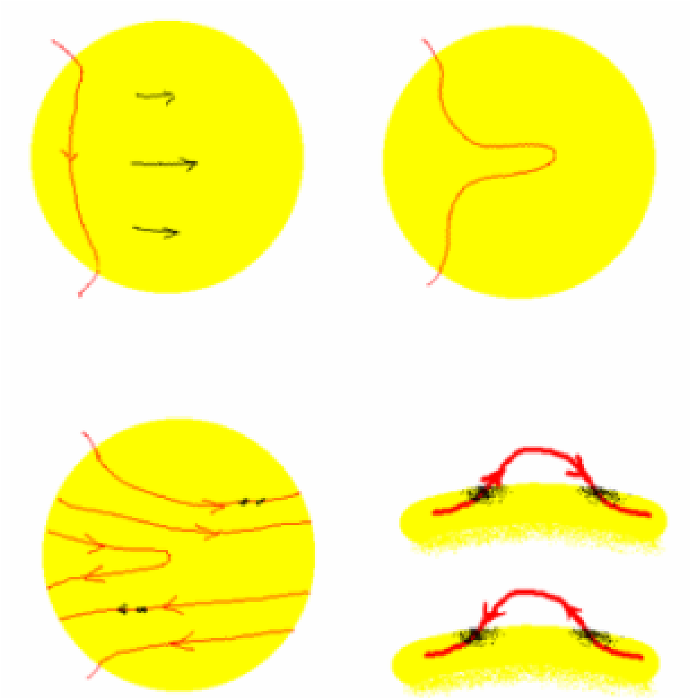


Abbildung 28: Zu Beginn des Zyklus (Sonnenminimum) bipolares Magnetfeld und vertikale Feldlinien in großer Tiefe. Die differentielle Rotation (Äquator: 25 Tage, Pol: 36 Tage, Konvektionszone: 27 Tage) „wickelt" die Feldlinien um die Sonne. Die Feldstärke wird dadurch verstärkt. Starke Flussröhren steigen auf und bilden dadurch die Sonnenflecken. Dass zu Beginn globale poloidale Feld wird toroidal. Am Ende des Zyklus neutralisieren sich die am Äquator entgegen gesetzten Felder.

Wie beim Magnetfeld der Erde, muss neben der Eigenrotation eine elektrisch leitende Schicht vorhanden sein. Diese ist das Sonnenplasma, welches eine hohe Leitfähigkeit aufweist. Die Magnetfelder entstehen in der Konvektionszone, in der die Energie nicht durch Strahlung, sondern durch Konvektion (daher der Name) transportiert wird. Diese Materieströmungen wirken wie ein natürlicher Dynamo, in dem ein Teil der Strahlung in magnetische Energie gewandelt wird.

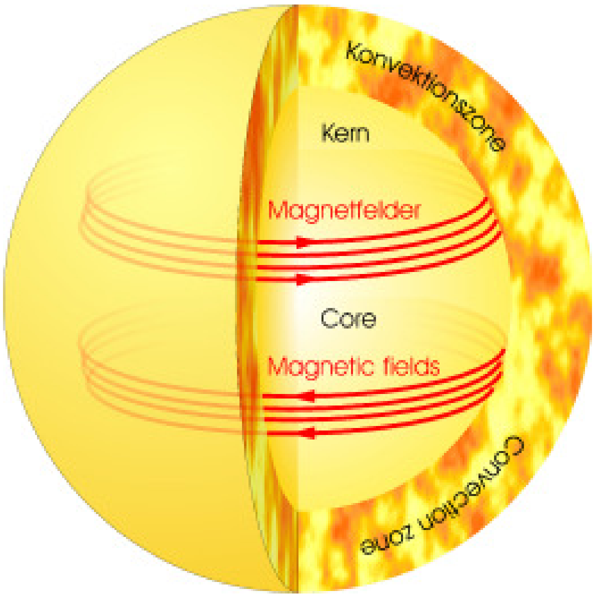
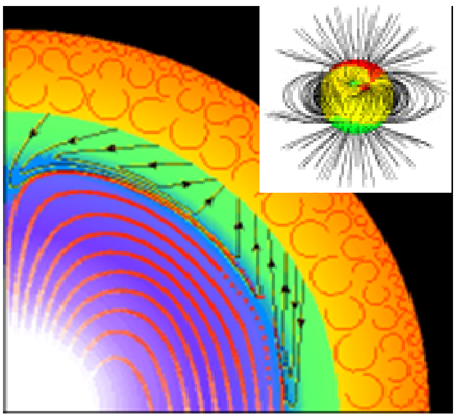


Abbildung 29: Das Magnetfeld wird vom Sonnen-Dynamo durch einen kreisförmigen elektrischen Fluss, tief im Innern der Sonne angetrieben. Das Innere der Sonne, welches nicht direkt beobachtbar ist, lässt sich durch die ständigen Sonnenbeben ermitteln. Dabei zeigte sich, dass deren Inneres, also die Strahlungszone (15,6 Mio.°C) fast wie ein starrer Körper rotiert. Sie deckt ca. 70% des Sonnendurchmessers ab und rotiert mit einer Umlaufzeit von knapp 27 Tagen. Die äußere, sog. Konvektionszone (2 Mio.°C) ist viel turbulenter und rotiert nicht nur unterschiedlich zur inneren Zone, sondern auch über die Breitengrade. Am Äquator beträgt die Umlaufzeit 25,4 Tage, während sie an den Polen mit 36 Tagen deutlich länger ist. Hierdurch kommt es zu komplexen magnetischen Wechselbeziehungen, wobei die Grenzschicht für die Magnetfelder der Sonne, eine entscheidende Rolle spielt.

Die Grenzschicht der starren Rotation (Kern) zur dynamischen Rotation (Konvektionszone) wird Tachocline genannt. Sie liegt ca. 200.000 km unter der Sonnenoberfläche, hat eine Dicke von ca. 30.000 km (Abbildung 30) und gilt als Ursprung des variablen Sonnendynamos. In ihr werden durch die Anwesenheit des inneren Magnetfeldes Ströme in den tieferen Schichten der Konvektionszone erzeugt, deren Schichten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten rotieren. Durch diese Interaktion kommt es nach den Gesetzen der Magnetohydrodynamik (beschreibt das Verhalten von elektrisch leitenden Fluiden, die von magnetischen und elektrischen Feldern durchdrungen werden) teils zu Abschwächungen des resultierenden Magnetfeldes und teils zu deutlichen Verstärkungen. Es entsteht dabei ein komplexes Muster von auf und abwärtsgerichteten Feldern, wobei die abwärtsgerichteten Felder durch das starke innere Feld geblockt werden.



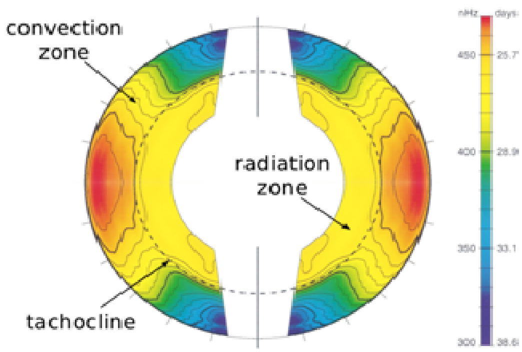


Abbildung 30: Die starre Strahlungszone der Sonne erzeugt bei Rotation im Plasma ein stabiles, gleichförmiges Magnetfeld (rote Linien), welches sich einzig durch die Variationen in der Eigenrotation (betragen bis zu 5%) ändert. Darüber befindet sich die Tachocline (grün, überhöht dargestellt). An dieser Grenzschicht werden aus dem Plasma wieder vollständige Atome mit Kern und Elektronen. Sie zeigt eine deutliche Scherrotation. Die Magnetfelder

werden hier, je nach Fließgeschwindigkeit und Stoffzusammensetzung unterschiedlich abgelenkt, wobei die abwärts gerichteten Felder durch das starke innere Magnetfeld geblockt und umgelenkt werden. Die aufwärtsgerichteten Felder gelangen in die turbulente Konvektionszone, erlangen dort Abschwächung oder Verstärkung (je nach Höhe und Richtung des Stromflusses) und gelangen zur Sonnenoberfläche. Die kleine Abbildung zeigt toroidales und poloidales Feld. Die rechte Abbildung zeigt die Lage der Tachocline und die unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten in der Konvektionszone vom Äquator bis zum Pol.

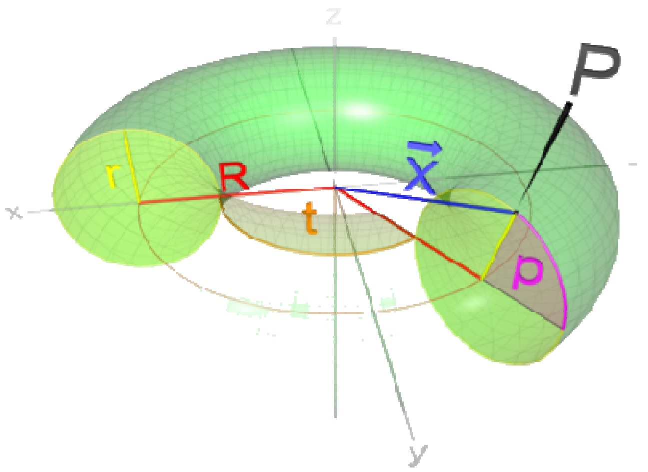


Abbildung 31: Durch die vorherig gezeigten differentiellen Fließ-richtungen bilden sich die beiden Hauptkomponenten des Sonnenmagnetfeldes, die sog. toroidalen (in Richtung des Torus, das durch die differentielle Rotation entsteht) und die poloidalen (in Richtung zum Pol, der sog. "Alpha-Effekt") Magnetfeldkomponenten. Beide bestimmen die solare Variabilität. Letzterer entsteht aus Turbolenzen im toroidalen Magnetfeld. Links ist schematisch ein Torus gezeigt, mit einer toroidalen Komponete „t“ und einer poloidalen Komponente „P“.

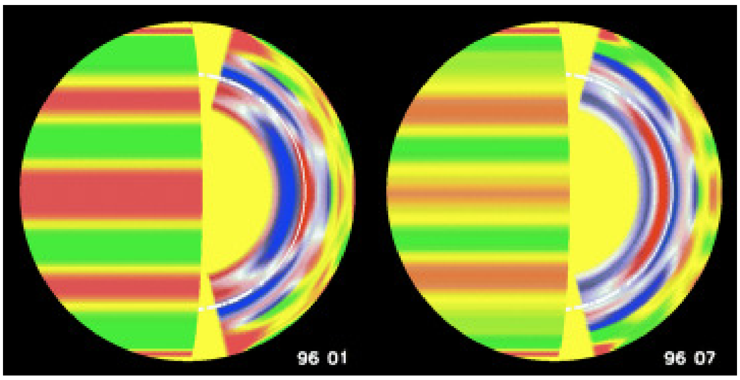


Abbildung 32a: Fließgeschwindigkeiten der Sonne. Deutlich ist beim Vergleich der Abbildungen (zu unterschiedlichen Zeiten ermittelt) zu erkennen, dass sowohl in der Sonne, als auch auf der Sonnenoberfläche, die Fließgeschwindigkeiten ständig variieren, was zu unterschiedlichen Magnetfeldern führt. In der Abbildung sind langsam fließende Regionen blau und schnell fließende rot dargestellt, wogegen auf der Sonnenoberfläche rot für langsamere und grün für schnellere Regionen verwendet wurde. Quelle: (http://soi.stanford.edu/results/2001_MDI_sr_review/).

Die beschriebenen magnetischen Prozesse entstehen letztlich aus der Wechselwirkung des Magnetfeldes mit der Plasmaströmung in der Konvektionszone, wobei die Scherströmung in der Tachocline und unteren Kovektionszone eine wichtige Rolle spielt. Magnetfeldlinien werden durch die Scherströmung aufgewickelt und das Magnetfeld verstärkt. Der erhöhte magnetische Druck verringert den Gasdruck und die Dichte in der magnetischen Schicht. Aufgrund des Auftriebs steigt magnetischer Fluss in Form von Magnetfeldschläuchen durch die Konvektionszone nach oben. Bricht ein solcher Schlauch durch die Sonnenoberfläche, bilden die Durchstoßpunkte bipolare Magnetfeldkonzentrationen, die sich als Sonnenflecken zeigen. Konvektion, differenzielle Rotation und unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten erzeugen dabei ein komplexes Fließmuster, sowohl in Rotations-, als auch in Nord-Süd-Richtung. Die letzteren Bewegungen gelten als Ursache für die 11-jährige Polaritätsumkehr im Schwabe-Zyklus.

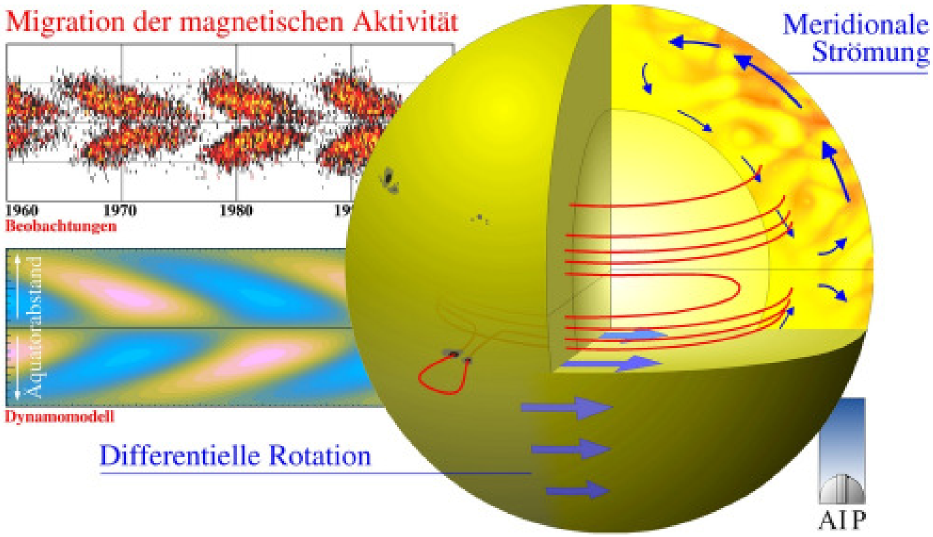


Abbildung 32b: Wie in der Erde, erzeugt die gemeinsame Wirkung von Konvektion und differentieller Rotation komplexe Magnetfelder im Innern, die die Sonnenoberfläche an unterschiedlichen Stellen gebündelt durchdringen, wobei die Sonnenflecken entstehen. Der Sonnendynamo bildet dabei zwei Fleckenbänder mit unterschiedlicher magn. Polarität, gleichermaßen auf der Nord- und Südhalbkugel, parallel zum Äquator aus (oben links). Mit geeigneten Strömungsmodellen kann der Transport dieser Magnetfeldgürtel (Convoyer-Belt) erklärt und somit das Modell überprüft werden (unten links). Quelle: Astrophysikalisches Institut Potsdam

Der Astrophysiker Dr. Theodor Landscheidt (Schroeter Institute for Research in Cycles of Solar Activity Nova Scotia, Kanada) hat diese Theorie weiter entwickelt. Die Basistheorie geht davon aus, dass die Dynamik des magnetischen Sonnenfleckenzyklus von der Rotation der Sonne angetrieben wird. Dabei wird der Eigendrehimpuls berücksichtigt, der an die Rotation der Sonne um ihre Achse anknüpft. Ein weiterer Drehimpuls ist der Bahndrehimpuls, der mit der sehr unregelmäßigen Bahnbewegung der Sonne um das Massenzentrum des Planetensystems zusammen hängt.

Wäre z.B. Jupiter der einzige Planet im Sonnensystem, so befände sich der Massenschwerpunkt ständig außerhalb des Sonnenkörpers, und zwar durchschnittlich 46.000 km oberhalb der Sonnenoberfläche. Aber auch der Beitrag, den Saturn, Uranus und Neptun zur Lage des Massenzentrums relativ zum Sonnenzentrum leisten, ist ganz beträchtlich. Dabei wirkt sich merklich aus, ob die Planeten im sonnennächsten oder sonnenfernsten Punkt stehen. Je weiter der Planet dabei von der Sonne entfernt ist, desto stärker zieht er den Massenschwerpunkt zu sich heran.

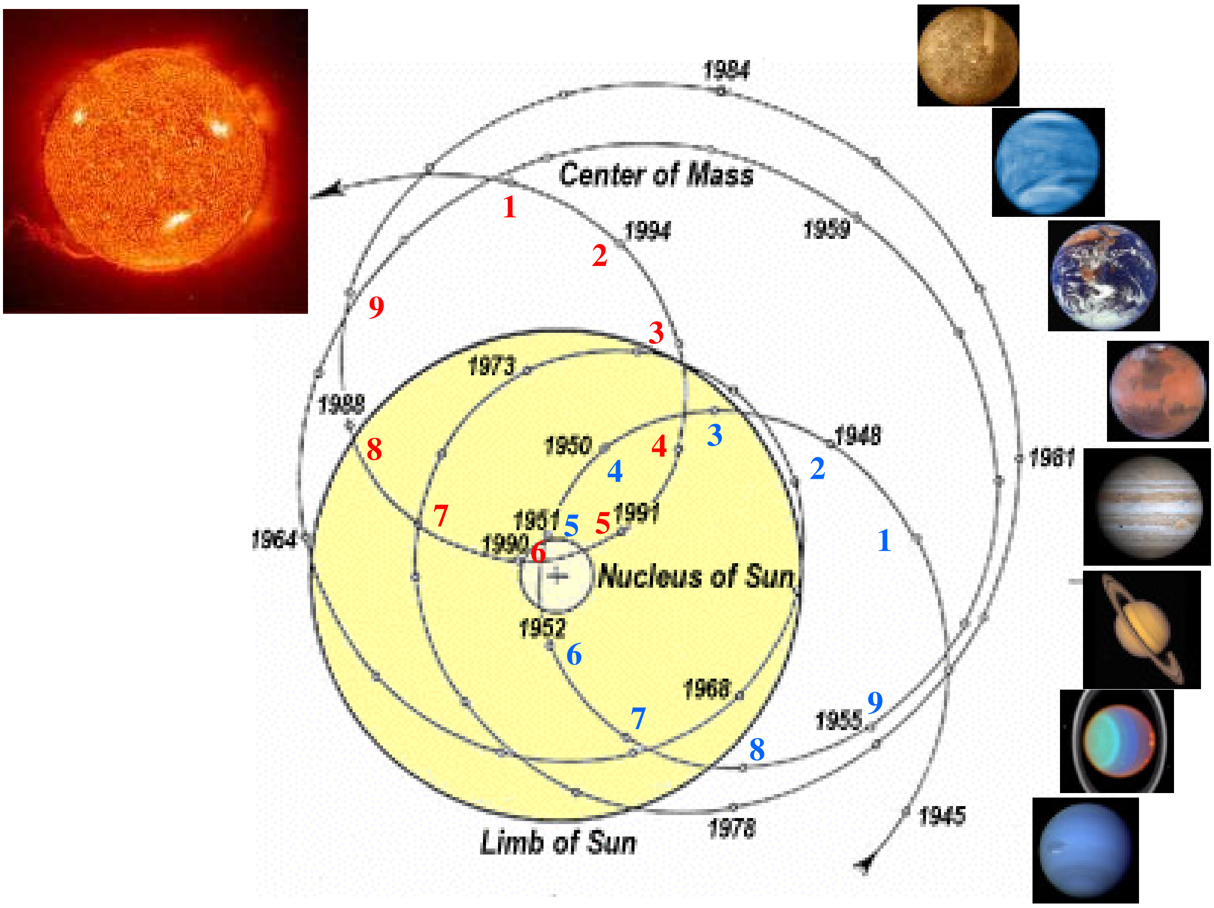


Abbildung 33 zeigt, wie der Masseschwerpunkt des Sonnensystems im Lauf der Jahre wandert. Dies wird durch die räumliche Verteilung der Massen der Riesenplaneten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun gesteuert. Die kleinen Kreise zeigen den Masseschwerpunkt. Zu sehen sind die relativen ekliptikalen Positionen von Massenzentrum und Sonnenzentrum für die Jahre 1945 - 1995 in heliozentrischer Sicht. Die gelbe Scheibe stellt die Sonne dar. Es ist leicht verständlich, dass sich durch Verlagerung des Drehimpulses, der mit der Wanderung des Massenschwerpunktes einhergeht, die Sonne moduliert wird, was sich in einer veränderten Energieabgabe auswirkt. Die blauen und roten Zahlen stehen jeweils für einen engen Zyklusumlauf (siehe Abbildung 35). Ergänzt nach Quelle: Dr. Theodor Landscheidt, Schroeter Institute for Research in Cycles of Solar Activity Nova Scotia, Kanada (kleine Photos: NASA).

Die Grundschwingung der Sonne um das Massenzentrum des Sonnensystems ist daher neben dem Eigendrehimpuls der Sonne ein weiteres Hauptkriterium für die kurzfristigen Energieschwankungen der Sonne, die sich auf der Erde in Klimazyklen auswirken. Beide basieren, bzw. bauen auf der Dynamotheorie auf, die besagt, dass die Dynamik des magnetischen Sonnenfleckenzyklus von der Rotation der Sonne angetrieben wird.

Die Erweiterung zur klassischen Dynamotheorie besteht darin, dass dort zusätzlich der dynamische Bahndrehimpuls berücksichtigt ist, der mit der sehr unregelmäßigen Bahnbewegung der Sonne um das Massenzentrum des Planetensystems zusammenhängt, was vorrangig durch die vier großen Gasplaneten verursacht wird. Der Unterschied zwischen Massezentrum der Sonne selbst (ruhiger Pol) und Massezentrum des Sonnensystems beträgt zwischen 0,01 und 2,19 Sonnenradien.

Das Minimum liegt an, wenn Jupiter auf der einen Seite und Saturn, Uranus und Neptun ihm im Planetenorbit gegenüber stehen. Das Maximum, wenn alle Gasplaneten in Konjunktion stehen. Zwischen diesen Extremen entwickelt sich ein komplexes Schwingungsmuster, was durch die Gravitationskräfte und den Bahndrehimpuls moduliert wird. Der flüssige Sonnenmantel und die Sonnenoberfläche werden dadurch bildhaft durchgeknetet, wodurch das magnetische Feld, die magnetische Stärke und die Energieabgabe der Sonne beeinflusst werden. Der Betrag des Bahndrehimpulses zum Eigendrehimpuls der Sonne kann bis zu 25% betragen. Wogegen der Eigendrehimpuls der Sonne relativ stabil ist, kann sich der Bahndrehimpuls auf das 40-fache

der Ausgangswerte verändern. Es bietet sich daher nach Landscheidt an, den hoch variablen Bahndrehimpuls mit veränderlichen Phänomenen auf der Sonne (z.B. Flecken, Fackeln, Änderung der Rotationsgeschwindigkeit) in Verbindung zu bringen, bzw. dies zu untersuchen.

In unregelmäßigen Zeitabständen werden Änderungen der äquatorialen Rotationsgeschwindigkeit der Sonne von mehr als 5% beobachtet (die Sonne rotiert nicht gleichmäßig um ihre Achse), die mit Änderungen der Sonnenaktivität einhergehen, da sich hierdurch durch den Dynamoeffekt das magnetische Feld der Sonne ändert.

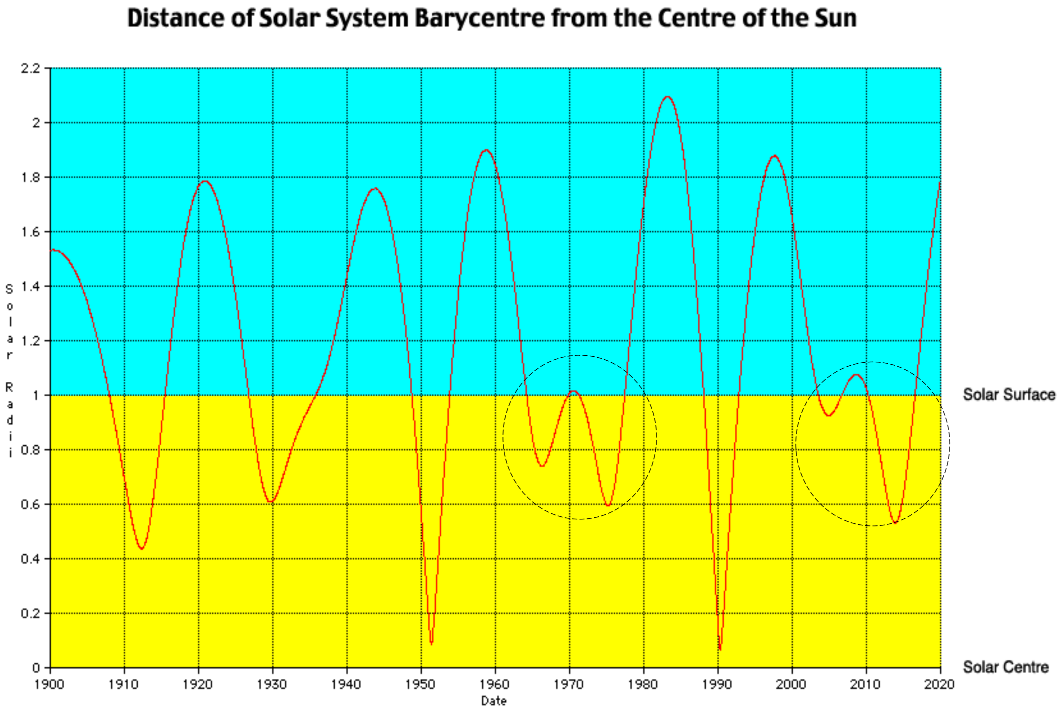


Abbildung 34 zeigt den Verlauf des Masseschwerpunkts des Sonnensystems von 1900 - 2020, Quelle: Solar System Dynamics Group, Jet Propulsion Laboratory Pasadena (http://users.qld.chariot.net.au/~carls/ephemerides/SSB_1900-2019.htm). Deutlich ist eine 20-Jahres-Schwingung erkennbar, deren Extrema mit der Aktivität der Sonne im Schwabe-Zyklus korreliert. Auffallend ist weiter, dass 1970 die Schwingung gering ausfiel – der entsprechende Sonnenzyklus (20) war schwach und 2009 die Schwingung ebenfalls klein ist, was einen schwachen 24. Sonnenzyklus erwarten lässt, zumal beide aus dem Grundmuster herausfallen.

Da die großen Gasplaneten, welche die Schwingung der Sonne um das Massenzentrum steuern, über 99% des Gesamtdrehimpulses im Sonnensystem verfügen, ergibt sich daraus, dass die Spin-Bahn-Kopplung, die Kopplung zwischen Bahnbewegung und Rotation, für die Änderung in der Rotationsgeschwindigkeit zumindest mit verantwortlich ist. Die Sonne bewegt sich durch die von ihr ausgestoßene Materie und ihre eigenen magnetischen Felder, was zu Änderungen in der Rotationsgeschwindigkeit führt.

Die Dynamik der beschriebenen Sonnenschwingung um das Massenzentrum lässt sich quantitativ durch die zeitliche Änderung des Bahndrehimpulses ausdrücken. Bei seinen Untersuchungen stieß Dr. Landscheidt auf folgendes Muster, das den Fingern einer großen Hand gleicht.

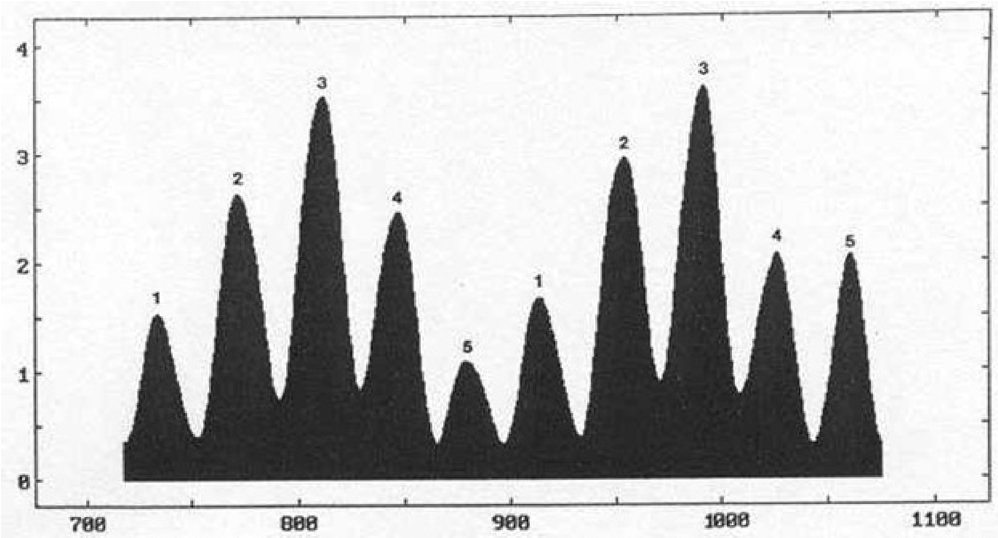


Abbildung 35 gibt die 9-jährige (siehe Abbildung 33) laufende Varianz (Quadrat der Standardabweichung, also die quadratischen Abweichungen vom Mittelwert) des Bahndrehimpulses wieder. Auf der Ordinate ist die relative Änderung des Drehimpulses L und auf der Abszisse die Zeit aufgetragen. Das Bild zeigt deutlich, dass die Änderung des Bahndrehimpulses durch eine fünfzählige Symmetrie geprägt ist. Dieses Muster wird durch die relative Stellung der großen Gasplaneten moduliert und ist nach den Kepplerschen Planetengesetzen konstant. Die Zykluszeit eines großen Fingers beträgt im Mittel 35,8 Jahre.

Bereits im 16. Jahrhundert wies der Engländer Francis Bacon, einer der geistigen Gründervater der modernen Naturwissenschaften, der auf die eingehende Naturbeobachtung setzte, auf einen 35- bis 40jährigen Zyklus in Holland hin, in dem feucht-kühle und warm-trockene Abschnitte aufeinander folgten.

Der Physiker, Geograph und Meteorologe Prof. Eduard Brückner ("Klimaschwankungen seit 1700", Geographische Abhandlungen 14 (1890), 325) entdeckte diesen Zyklus 1887 neu. Er wies nach, dass zahlreiche klimatische Phänomene, die in den verschiedensten Gebieten der Erde erscheinen, synchronisiert sind und einem Zyklus von im Mittel 35 Jahren folgen. Er ging schon damals von einem Zusammenhang mit der Sonnenaktivität aus. Die folgende Abbildung zeigt den Brückner-Zyklus.

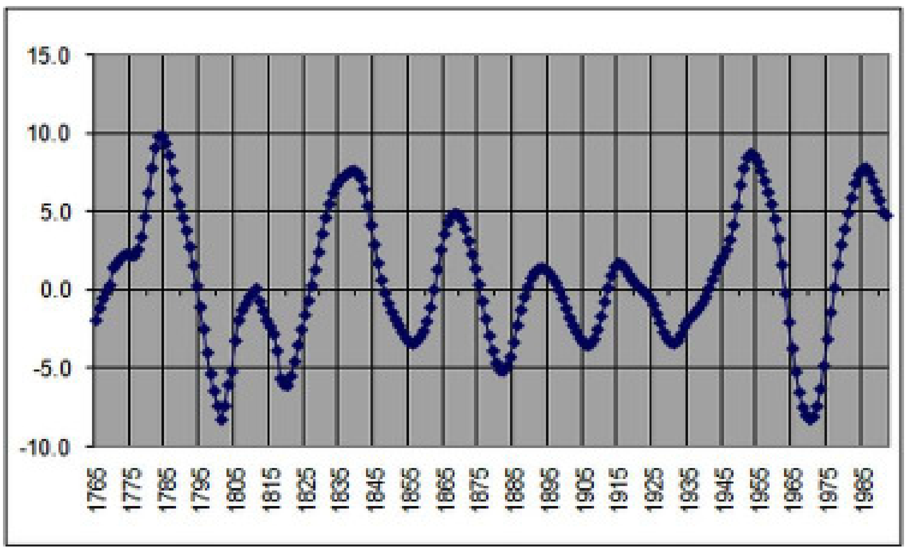


Abbildung 36: Der Brückner-Zyklus stellt eine Oberschwingung in der solaren Aktivität dar. Die Anzahl der Sonnenflecken und damit die Aktivität der Sonne schwanken um einen Mittelwert. Stärkere Aktivitätsphasen wechseln sich im Rhythmus von ca. 35 Jahren ab. Die Abbildung zeigt die Abweichung in der Sonnenfleckenzahl im Zeitraum von 1750 - 2000, Quelle: (http:// garymorris93.cwahi.net/weather/solar_ variations.html).

Aus der Abbildung zeigt sich, dass im Betrachtungszeitraum von 1750 - 2000 die Zykluslänge zwischen 27 und 38 Jahren variiert. Die Schwankungen in der Energieabgabe der Sonne, die im 35-jährigen Brückner-Zyklus sichtbar werden, haben unmittelbare Auswirkungen auf das Klima der Erde, wie Abbildung 37 zeigt.

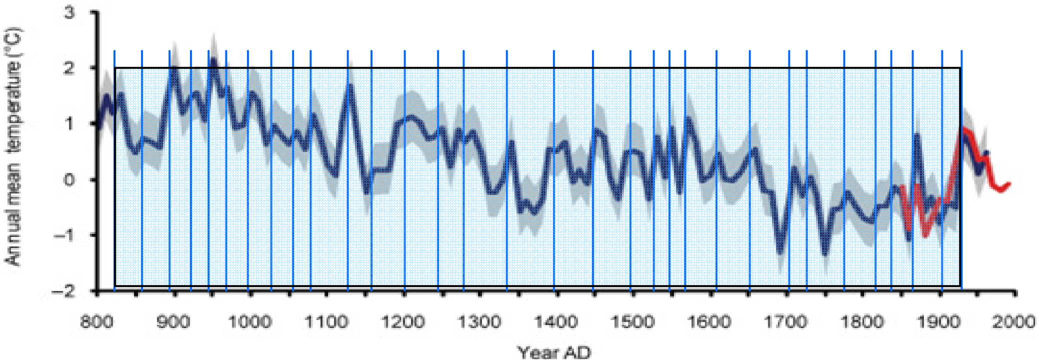


Abbildung 37: Quelle: Fredrik Charpentier Ljungqvist, Stockholm University, "A regional approach to the medieval warm period and the little ice age", zeigt Temperaturschwankungen aus Eisbohrkerndaten in Grönland (blau) und von Messungen an der Westküste Grönlands (rot) im Zeitraum von 800 - 2000 (grau: Standartabweichung). Man sieht ein heftig gezacktes Muster, in dem sich relative Minima und relative Maxima abwechseln. Werden z.B. die Maxima gekennzeichnet (blaue Linien), sind im Betrachtungszeitraum 31 volle Perioden von ca. 850 - 1935 abgebildet. Daraus ergibt sich eine mittlere Zykluslänge von exakt 35 Jahren, was der Länge des Brückner-Zyklusses entspricht. Temperaturspitzen wechseln sich im Mittel alle 35 Jahre ab.

Auch in den mit am wichtigsten Klimaparametern, wie der AMO (Atlantik Multidekaden Oszillation) und der PDO (Pazifische Dekaden Oszillation, beide zeigen die Abweichungen in der Meeresoberflächentemperatur) zeichnet sich deutlich der im Mittel 35-jährige Brückner-Zyklus ab. Mit der AMO bestimmt er unmittelbar die arktische Eisbedeckung, wie noch gezeigt wird und das Wetter und Klima in Mitteleuropa.

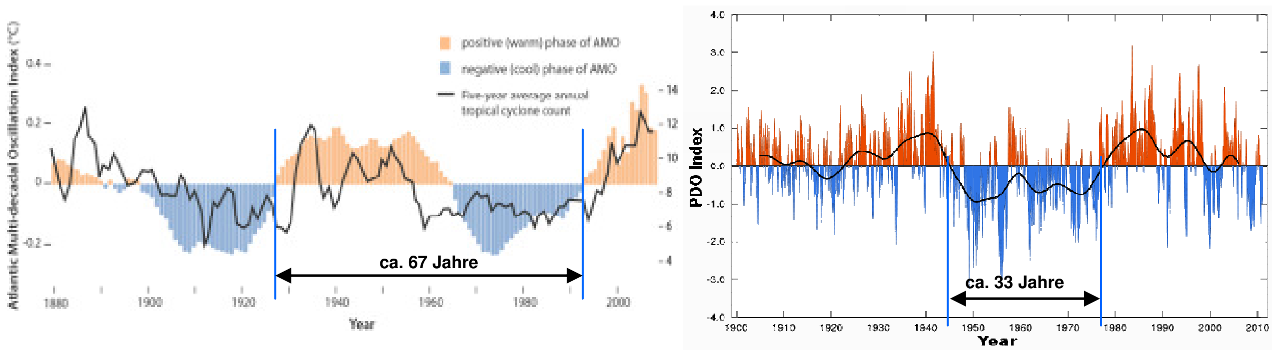


Abbildung 38 links, Quelle: Dr. Landsea, zeigt die AMO-Schwingung, mit einer positiven und negativen Phase von im Mittel 33,5 Jahren. Abbildung rechts (NOAA) zeigt die PDO mit der negativen Phase von 33 Jahren.

Dr. Landscheidt schreibt zu der in Abbildung 33 gezeigten 9-jährigen Varianz: "Die 9-jährige laufende Varianz habe ich deshalb gewählt, weil die stärker gekrümmten Umläufe der Sonne mit einer Zykluslänge von 9 Jahren sich als besonders interessant erwiesen haben." Mit anderen Worten heißt dies, dass andere, längere Umläufe nicht das markante Muster einer großen Hand ergeben, also die quadratische Abweichung vom Mittelwert anders, weniger zyklisch aussieht. Insgesamt stellt dies natürlich schon seine Ergebnisse etwas in Frage, weil sie nicht allgemeingültig sind oder, können sie gar nicht allgemeingültig sein?

Bei den Untersuchungen Dr. Landscheidts geht es darum, Veränderungen in der magnetischen Aktivität und damit der Leistungsabgabe der Sonne zu erkennen und diese zuordnen zu können. Für Untersuchungen gilt generell, je stärker ein System auf Eingabeänderungen reagiert, also seine Ausgangsgrößen von der Eingangsgröße abhängig sind, umso sensibler ist das System und umso exakter kann es als Ganzes auf Veränderungen beobachtet und damit

bewertet werden. Sind die Ausgangsgrößen nur gering von den Eingangsgrößen abhängig, so nähert sich dieses System immer mehr seinem stabilen Zustand. Dies heißt, die Trägheit, die eine der Grundlagen des stabilen Zustands ist, verhindert eine exakte Zuordnung der Ausgangsgröße (hier der solaren Energieabgabe) zu der Eingangsgröße (hier die Änderung der inneren Aktivität der Sonne).

Da aber die Änderung in der Fließgeschwindigkeit der Plasmamassen im Sonnenmantel umso höher ist, je „enger“ die Umläufe des Massezentrums sind – beruht auf der Winkelbeschleunigung in einer Kreisrotation und des Induktionsgesetzes – umso stärker ist der Ausschlag in der Ausgangsgröße des Systems. Soll untersucht werden, wie Änderungen in der Massenströmung der Plasmaströme, die letztendlich die Magnetfeldänderungen hervorrufen, die Energieabgabe der Sonne steuern, so muss zwangsläufig die geringste laufende Varianz, also die 9-jährige Varianz betrachtet werden, weil nur sie in der Lage ist, das exakteste Bild in der Änderung der Ausgangsgröße von der Eingangsgröße abzubilden.

Dr. Landscheidt geht auf die Frage seiner Wahl zur Varianz nicht näher ein, sondern gibt nur allgemein an, dass diese “besonders interessant erwiesen haben“. Evtl. wusste er gar nicht, warum gerade diese so interessant sind und nur diese, so interessant sein können.

Die Länge des Zyklus der “Großen Hand“ in Landscheidts Untersuchungen beträgt 178,8 Jahre. Auffällig ist, dass der Gleißberg-Zyklus etwa halb so lang ist wie der Zyklus der “Großen Hand“. Die Zykluszeit fällt zusammen mit der Konstellation der Planeten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun zur Sonne. Die Zyklen der “Großen Finger“ weisen eine durchschnittliche Länge von 35,8 Jahren auf und sind mit der Sonnenaktivität verknüpft. So fallen sie mit den Maxima und Minima des Gleißberg-Zyklus zusammen und ermöglichen erstmals dessen langfristige Vorhersage.

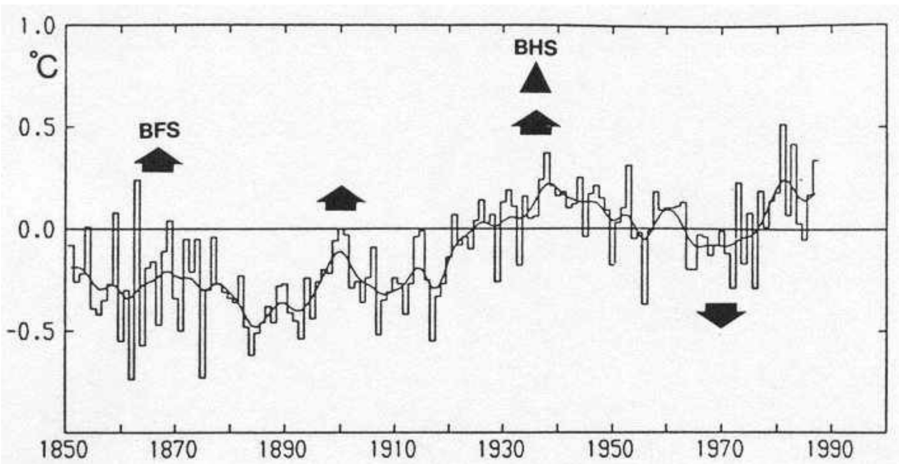


Abbildung 39 aus den Untersuchungen Dr. Landscheidts zeigt die jährlichen Mitteltemperaturen von 1850 - 1987 an der Erdoberfläche der nördlichen Hemisphäre nach P. D. Jones. Die Nullphasen der Großen Finger (BFS) sind durch Pfeile angezeigt. Die Nullphase einer hierarchisch übergeordneten Großen Hand (BHS) ist durch ein Dreieck gekennzeichnet. Diese hat einen Phasensprung ausgelöst. Vor BHS fallen die BFS mit Maxima der geglätteten Temperaturkurve zusammen, danach mit Minima, was nicht anders sein kann, wird in Betracht gezogen, dass durch die Veränderungen im Massenschwerpunkt solare Zyklen mit zunehmender und abnehmender Aktivität verbunden sind. Während ansteigender Sonnenaktivität werden die Massen im Sonnenmantel mit jedem Nulldurchgang BFS beschleunigt. Nach jedem BHS wird der Einfluss der Planeten entgegengesetzt zur Fließrichtung der Massen im Sonnenmantel. Dies bewirkt, dass bei BFS die vorhandene Fließrichtung am stärksten abgebremst wird und damit die solare Aktivität am stärksten reduziert wird, was sich in einem Temperaturminimum auf der Erde auswirkt. Nach zwei Zyklen der großen Hand ist die Geschwindigkeit der inneren Massen Null (der erste beschleunigt und der zweite bremst ab) und das System wird erneut in Gang gesetzt. Ein neuer Sonnenzyklus beginnt. Der nächste Temperaturtiefpunkt ist nach Dr. Landscheidt um 2007 zu erwarten. Anmerkung: Dies ist zwischenzeitlich für 2008 eingetreten.

Die theoretische Erklärung, warum die Planeten und mit ihnen ihr Bahndrehimpulsmoment die solare Aktivität beeinflussen, liegt an der relativen Änderung des Massenschwerpunkts des Sonnensystems zur Sonne und deren Schwerpunkt, wodurch Relativkräfte zwischen den beiden Schwerpunkten und der Sonnenmassen entstehen, die die internen Fluidströme der Sonne beschleunigen, bzw. abbremsen. Dadurch entsteht eine Beschleunigung, bzw. Abbremsung der Sonnenrotation, die wiederum auf die internen Fluidströme rückwirkt. Es entsteht also ein hoch-dynamisches rückgekoppeltes System. Vergleichbar ist dies mit dem System Erde/Mond (entgegen dem Sonnensystem sind hier nur zwei Partner aktiv), wie der Mond über seine relative Position zur Erde, die Gezeitenkräfte auslöst und mit Ihnen die Erdrotation beeinflusst.

In Abbildung 40 (vergleichbar zum Zwei-System: Erde/Mond) ist das System Sonne/Jupiter (massereichster Planet) dargestellt und die Änderung der SSB (Solar System Barycenter).

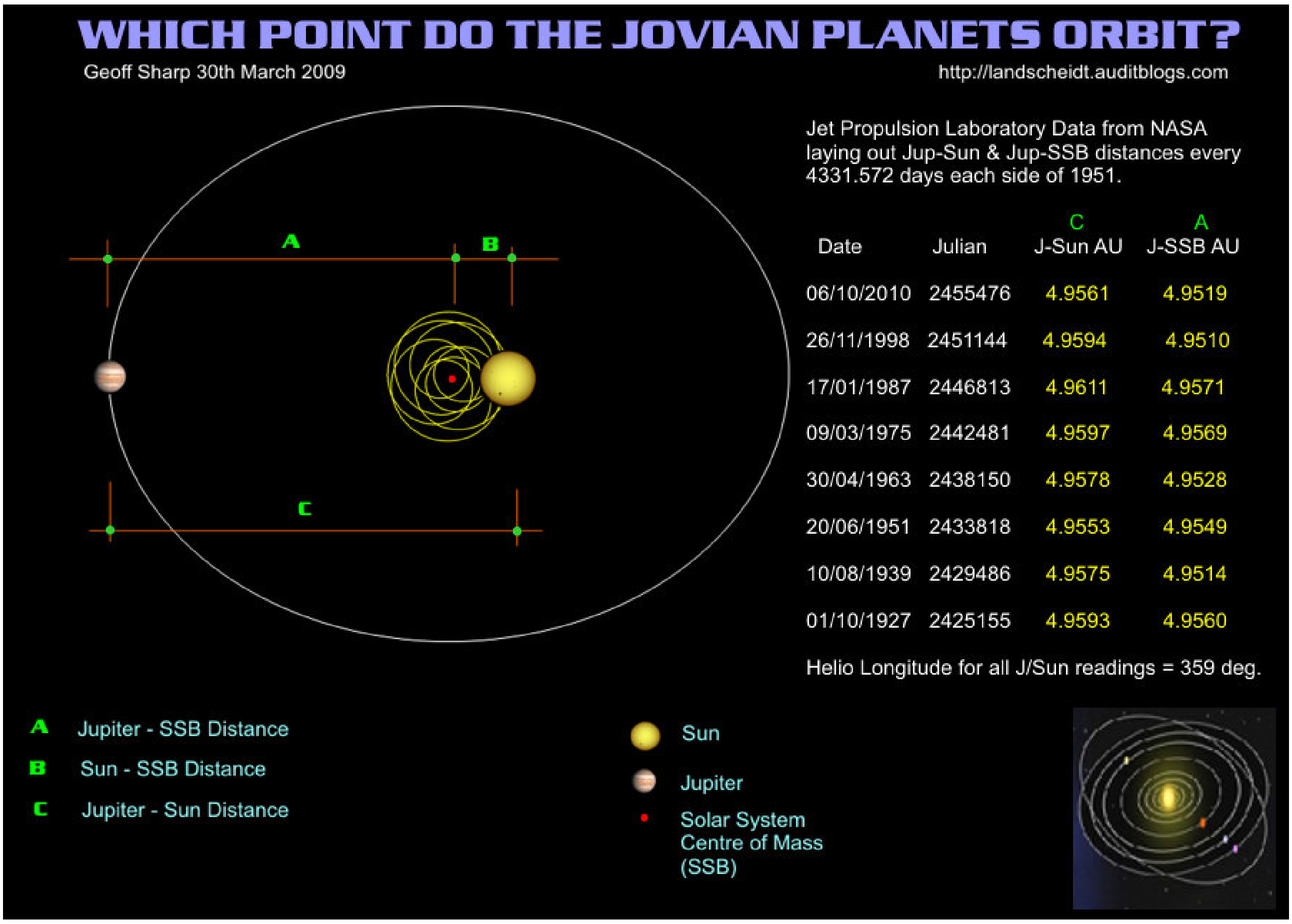


Abbildung 40: Das Jet Propulsion Laboratory fand anhand von NASA-Messungen heraus, dass es eine Periodizität zwischen Jupiter und dessen Abstand zum Massezentrum des Sonnensystems (SSB) gibt. Diese liegt bei ca. 11,8 Jahren und stimmt somit sehr gut mit der mittleren Länge (11,1 Jahre) des Schwabe-Zyklus überein.

Beim Bahndrehimpuls müssen neben Jupiter, jedoch noch die anderen Planeten, insbesondere die (weiteren) großen Gasplaneten, Saturn, Neptun und Uranus betrachtet werden, deren Einflüsse, die des Jupiters entweder verstärken (Konjunktion) oder abschwächen (Opposition), so dass sich hieraus, nach den keplerschen Planetengesetzen, ein zeitliches Muster zwischen maximalem Einfluss und minimalem Einfluss der Planeten auf die Sonne einstellt. Nach Theodor Landscheidt hat dieses Muster, wie bereits dargelegt, eine Länge von ca. 180 Jahren.

Anhand der Beeinflussung auf das SSB und dessen Rückwirkung auf die Sonne, ergibt sich nach Landscheidt die folgende Abschätzung für die Intensität der nächsten Sonnenzyklen.

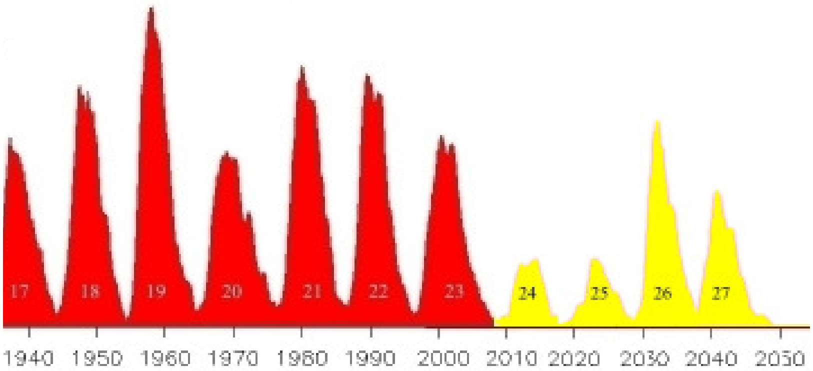
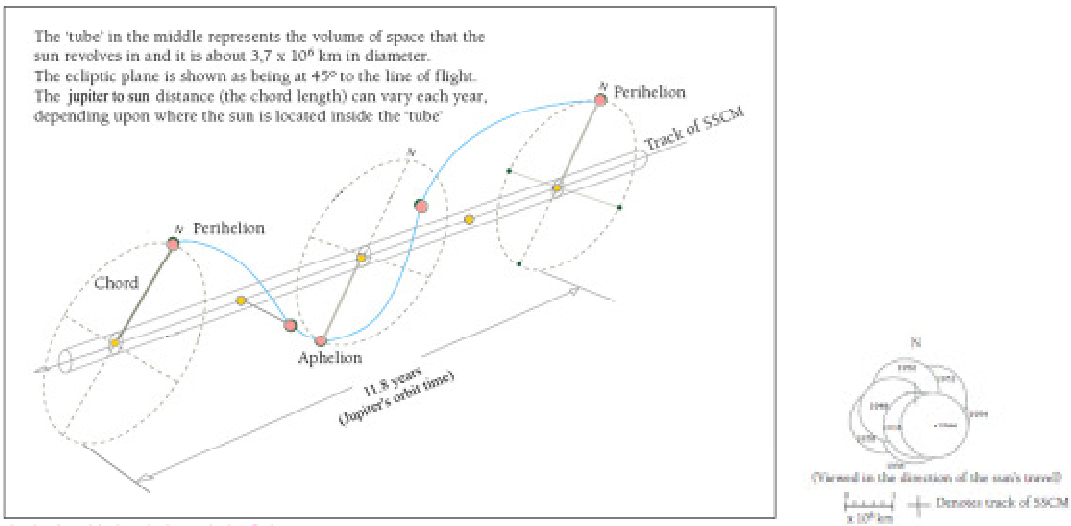


Abbildung 41 zeigt die nach den Modellen von Dr. Landscheidt ermittelten nächsten Sonnenzyklen (gelb). Es sieht gegenwärtig so aus, dass er mit dem 24. Sonnenzyklus Recht hat. Aus der Datenreihe geht hervor, dass es spürbar kälter wird und bis mindestens in die 2030-Jahre kalt bleibt. Quelle: http://landscheidt.auditblogs.com/

Wie bereits geschildert, führt die Sonne keine konstante Bewegung durch, sondern sie wackelt sozusagen im Orbit durch einen imaginären Schlauch, welcher einen Durchmesser von ca. 3,7 Mio. km aufweist.



Jupiter's orbital path through the Galaxy.

Abbildung 42 zeigt die Jupiter- und Sonnenbahn im Orbit, Quelle: Alexander et al., Journal of the South African Institution of Civil Engineering, vol. 49, Page 41, June 2007. Die kleine Abbildung zeigt die unterschiedlichen Positionen der Sonne in diesem (imaginären) Schlauch.

Dr. Landscheidt untersuchte weiter, inwieweit sich mit seiner Methodik noch feinere Unterschiede in der Bahndrehimpulsänderung der Sonne zeigen, sich also deren Abweichungen vom Mittel noch feiner ausbilden lassen, als die bereits gesehenen großen Finger mit einer Zykluslänge von 35,8 Jahren. Hierzu wählte er 1/3 von 9, also eine dreijährige Varianz. Die folgende Abbildung zeigt das Ergebnis.

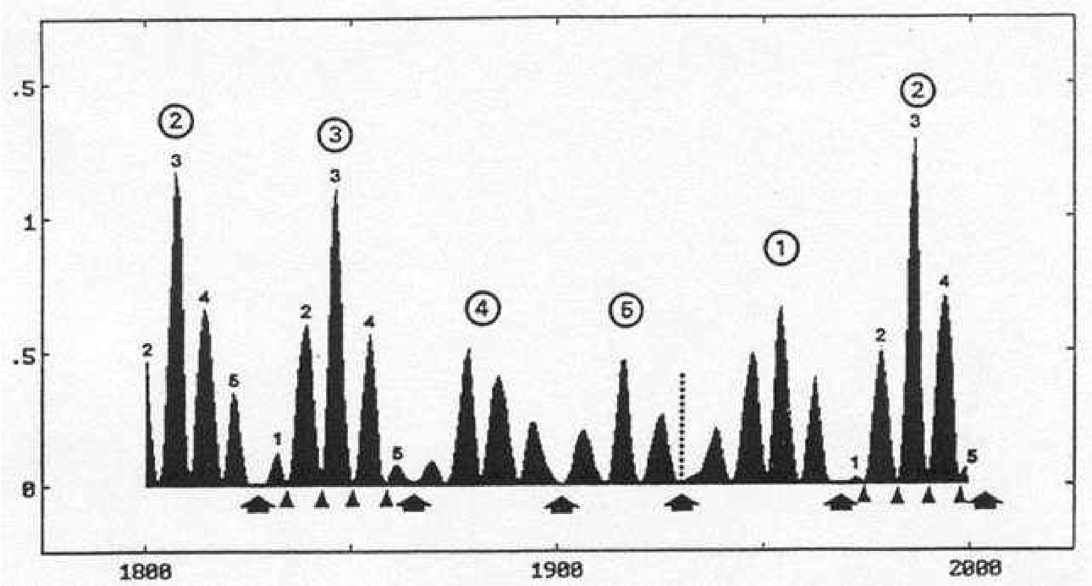


Abbildung 43 zeigt die 3-jährige laufende Varianz (Quadrat der Standardabweichung, also die quadratischen Abweichungen vom Mittelwert) des Bahndrehimpulses, wieder im Zeitraum von 1800 - 2000, Quelle: Dr. Landscheidt. Es bildet sich hier ebenfalls ein Fingermuster aus. Diese werden mit „Kleinen Fingern“ bezeichnet. Die kleinen Pfeile stellen Nulldurchgänge dar. Die großen Pfeile Nulldurchgänge eines „Großen Fingers“, was bedeutet, dass eine Kleine Hand identisch mit der zeitlichen Länge eines Großen Fingers ist. Die gepunktete Linie zeigt den Sprung einer „Großen Hand“ (BHS) und die Zahlen sind die Durchnummerierung der „Kleinen Hände“, wobei die Zahlen in der Mittelposition angeordnet sind. Die Zykluslänge der „Kleinen Finger“ beträgt im Mittel 7,2 Jahre.

In den die Nullphasen der Zyklen „Kleiner Finger“ (wie der „großen Finger“) wird die zeitliche Änderung des Bahndrehimpulses der Sonne Null. Da der Bahndrehimpuls Einfluss auf die Rotationsgeschwindigkeit der Sonne hat, muss sich dies auf die magnetische Aktivität der Sonne auswirken.

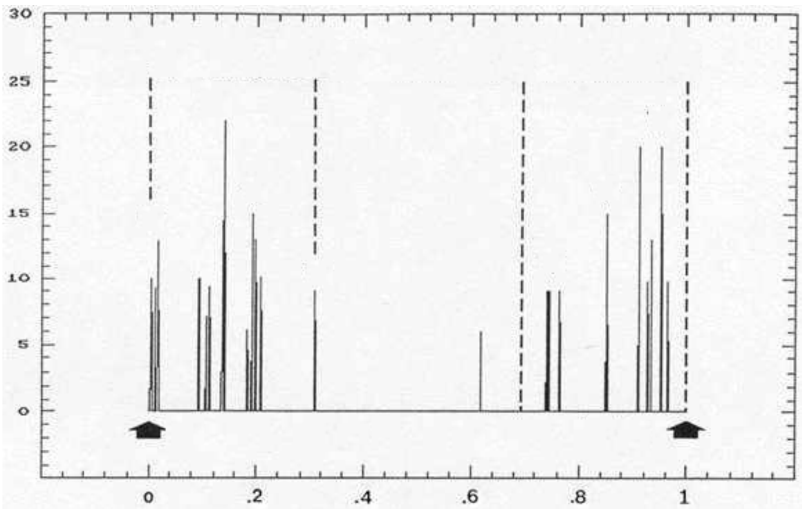


Abbildung 44 zeigt die Verteilung starker Röntgenstrahlungsflares (X≥6) zwischen den Nulldurchgängen „Kleiner Finger“ (Pfeile) im Zeitraum von 1970 - 1992. Deutlich ist zu sehen, dass sich die energetischen Sonneneruptionen auf die Zeiten unmittelbar vor und nach dem Zyklus „Kleiner Finger“ der Varianz Bahndrehimpuls konzentrieren, Quelle: Dr. Landscheidt. Dies sollte Einfluss auf das Wettergeschehen haben und sich der Zyklus dort wieder finden.

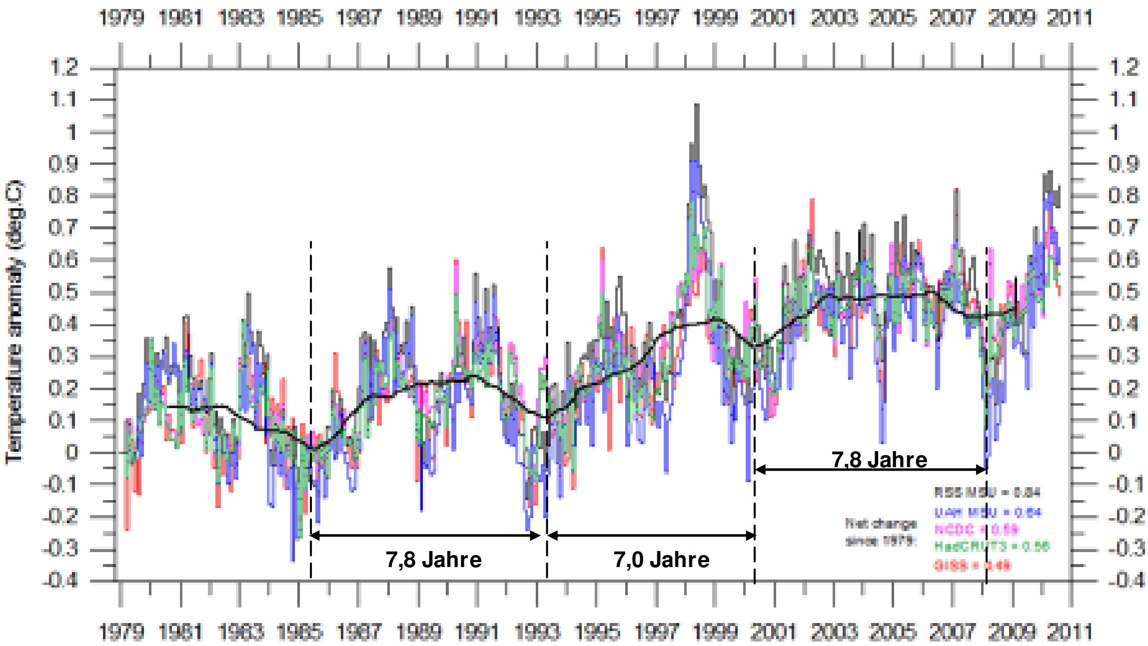


Abbildung 45 zeigt die globale Temperaturentwicklung im Zeitraum von 1979 - 2011. Der geglättete Kurvenverlauf zeigt eine Periode von im Mittel 7,5 Jahren (http://www.climate4you.com/GlobalTemperatures.htm). Dies ist exakt die Periodenlänge nach Dr. Landscheidt und bestätigt, dass seine Überlegungen richtig sind und sich die von ihm gefundenen Zusammenhänge zur Sonnenaktivität unmittelbar im Klimageschehen auf der Erde niederschlagen.

Raimund Leistenschneider - EIKE

Teil 4 in Kürze

Dynamisches Sonnensystem – die tatsächlichen Hintergründe des Klimawandels

Die Korona der Sonne ist wohl der faszinierendste Teil der von der Erde aus sichtbaren Sonne. Ist sie doch ohne die moderne Astronomie, nur während einer totalen Sonnenfinsternis zu sehen. Die Korona ist abhängig von der solaren Aktivität und sie reicht mehrere Millionen Kilometer weit ins Weltall. Menschen blickten zu allen Zeiten während einer Sonnenfinsternis zu ihr empor. Über diese kulturelle Faszination hinaus, spielt sie eine entscheidende Rolle zum Verständnis des Wetter/Klimas auf der Erde. Sie ist der Teil der Sonne, in der der Sonnenwind entsteht, der bis an die Grenzen des Sonnensystems reicht. Teil 4 gibt Einblicke über ihr Entstehen, ihre Eigenschaften und ihren Einfluss auf das Wetter/Klima der Erde.

Teil 1 – Die Sonne bestimmt den Temperaturgang
Teil 2 – Die Sonne, der faszinierende Stern
Teil 3 – Sonnenflecken und ihre Ursachen
Teil 4 – Die Sonnenatmosphäre, Korona, Heliosphärische Stromschicht, interplanetares Magnetfeld (wegen Komplexität gesplittet)
Teil 5 – Die variable Sonne
Teil 6 – Der Einfluss der Sonne auf unser Wetter/Klima
Teil 7 – Der Einfluss der Sonne auf die Wolkenbedeckung über Svensmark hinaus
Teil 8 – Zukünftige Temperaturentwicklung und deren Schwankungen

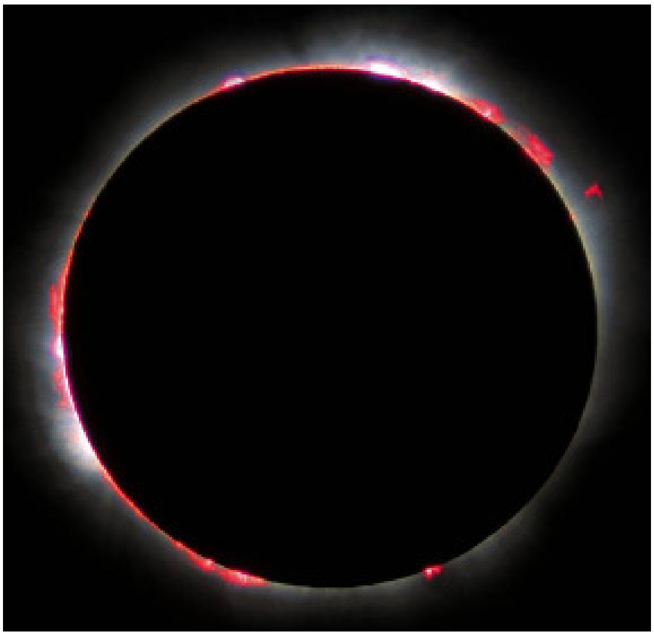


Abbildung 0

Teil 4 – Die Sonnenatmosphäre: Die Korona

Korona

Die Korona ist die äußere Atmosphäre der Sonne. Sie ist die Ursprungsregion des Sonnenwindes und reicht weit in den interplanetaren Raum. Sie ist die äußere Schicht der Sonne. Die Sonnenatmosphäre besteht aus mehreren Sektionen.



An der ca. 5.800 K heißen Sonnenoberfläche, der Photosphäre, schließt sich die etwa 10.000 km-dünne **Chromosphäre** an (Abbildung 46), die ihren Namen vom haarfeinen farbigen Kranz um die Sonne während einer Sonnenfinsternis hat (Abbildung links). Die rote Farbe kommt vom Ly-α Übergang des Wasserstoffs. Die Farbe verrät, dass es sich um eine kühle Region der Atmosphäre handelt. Nach Wedemeyer et al, 2004, liegt die Temperatur zwischen 3.000 K und 1.800 K und wird durch akustische Wellen, deren Energie durch Dissipation in thermische Energie gewandelt wird, erzeugt.

Über der Chromosphäre schließt sich die **Übergangsregion** an, die die Korona von der Chromosphäre trennt.

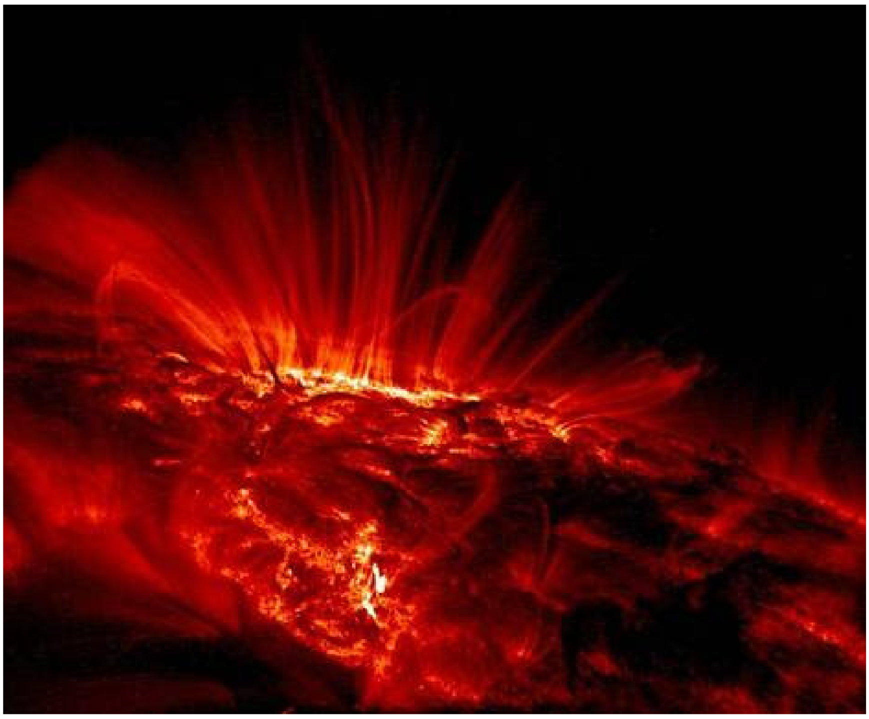


Abbildung 47 zeigt eine Aufnahme des Satelliten TRACE (**T**ransition **R**egion **a**nd **C**oronal **E**xplorer) von der Übergangsregion im UV-Bereich. Aufgrund ihrer hohen Temperatur geben Beobachtungen im sichtbaren Bereich keinen Aufschluss über ihre Vorgänge. Die Übergangsregion stellt den Übergang (daher der Name) dar, von gravitations-gebundenen und durch Gasdruck und Fluiddynamik bestimmten Prozessen, hin zu überwiegend durch magnetisch, dynamische Kräfte (Magnetohydrodynamik) bestimmten Vorgänge dar. Ihre Höhe

lässt sich daher nicht eindeutig bestimmen und variiert. Sie stellt die Grenzschicht der Helium-Ionisation dar.

Der Übergangsregion schließt sich die **Korona** an. Sie besteht aus einem magnetischen Plasma, dass durch das starke Magnetfeld der Sonne in weiten Teilen beeinflusst wird. Die Korona ist stark strukturiert und ist bei einer Sonnenfinsternis als weiß strahlender Kranz (daher der Name) gut sichtbar. Je nach Aktivität der Sonne erstreckt sie sich mehrere Millionen km weit ins All.

Durch ihr elektro-magnetisch leitendes Plasma ist in der Korona viel magnetische Energie gespeichert. Über den Gebieten mit starker Aktivität bilden sich schleifen- und röhrenartige Magnetstrukturen zu Magnetfeldbögen, mit in sich geschlossenen Feldlinien aus, in denen das Plasma konzentriert ist. Dazu im Gegensatz, die koronalen Löcher über den Polen, die offene Magnetregionen darstellen und deren Feldlinien bis an die Grenzen der Heliosphäre reichen.

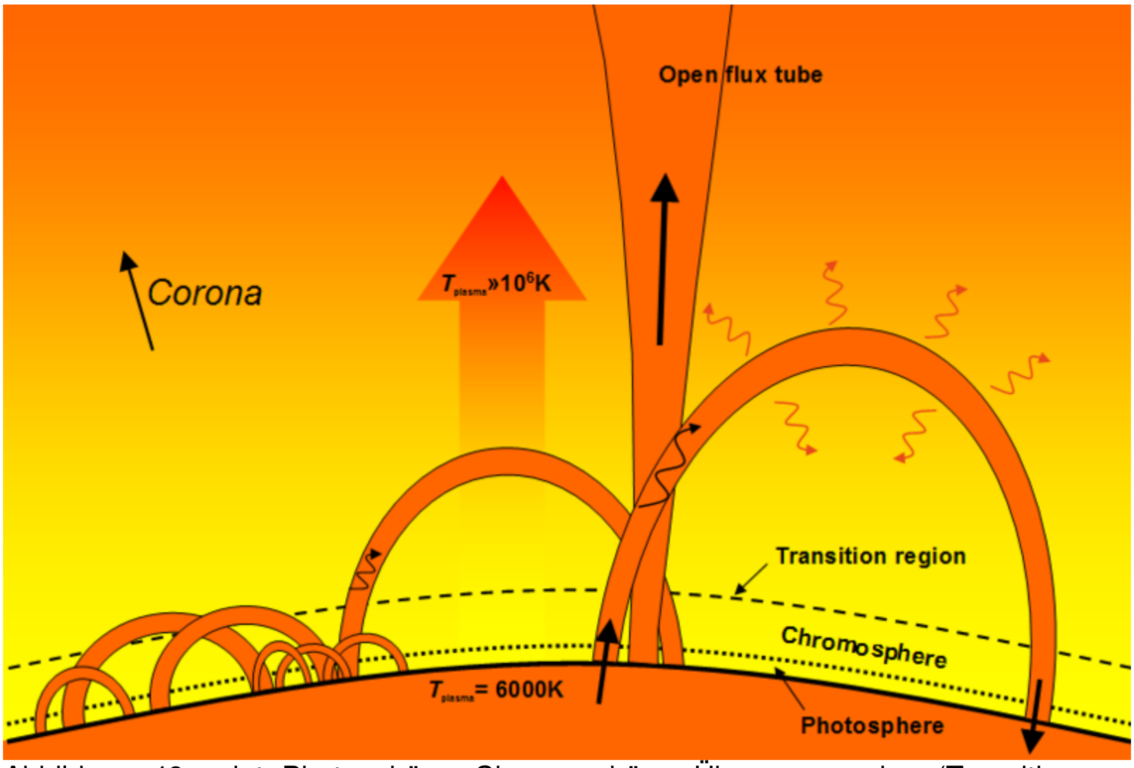


Abbildung 48 zeigt Photosphäre, Chromosphäre, Übergangsregion (Transition region) und Korona. Dazu im Röntgenlicht strahlende Magnetfeldbögen mit eingeschlossenem Plasma und ein koronales Loch (Open flux tube), aus dem das Plasma ungehindert entweicht. Abbildung 49 zeigt, warum in der Korona magnetische Effekte dominieren und ihre Heizung auf magnetische Ursachen zurückzuführen ist.

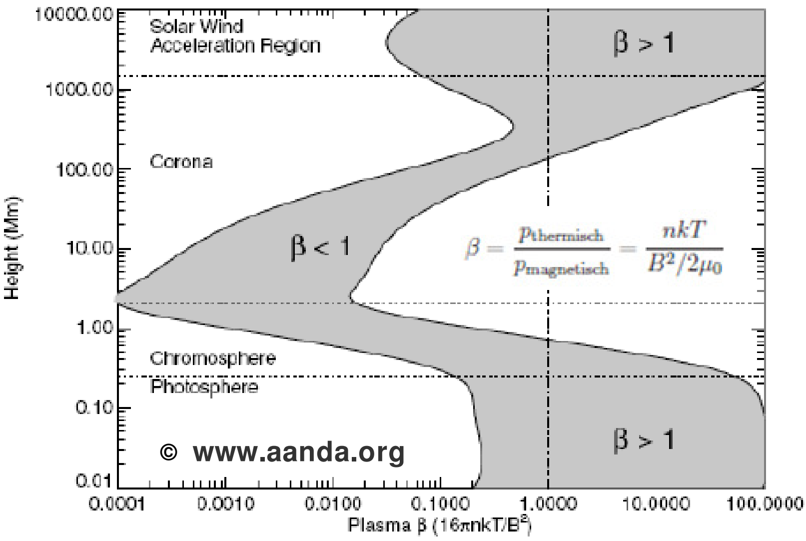


Abbildung 49: Die Eigenschaft eines Plasma wird durch das "Plasma-Beta" (β) ausgedrückt. β ist das Verhältnis von thermischem Druck und magnetischen Druck. Die Photosphäre, sowie der Sonnenwind werden durch das Plasma bestimmt, wogegen in der Korona der Einfluss des Plasmas abnimmt und magnetische Effekte an Einfluss gewinnen. Dies ist z.B. ein Grund, warum die magnetische Aktivität und die Sonnenfleckenaktivität nicht synchron laufen. Die Koronaaktivität wird durch mehr bestimmt, als nur durch Sonnenflecken.

Wie noch gezeigt wird, spielen koronale Löcher eine wichtige Rolle beim Verstehen der solaren Auswirkungen auf die Erdatmosphäre, die Wolkenbildung und damit auf unser Wetter.

Koronale Löcher werden sichtbar, wenn die Sonne mit Filtern betrachtet wird, die ausschließlich Röntgen und extremes UV-Licht (UVC) der Sonne durchlassen. Dann werden dunklere Gebiete in der Korona sichtbar. Dabei handelt es sich um Gebiete, mit einer um bis zu dem Faktor hundert reduzierten Teilchendichte in der Korona, die auf Grund der geringeren Teilchendichte kälter sind und damit auf den Aufnahmen dunkler erscheinen. Im sichtbaren Spektrum der Sonne sind sie unsichtbar, daher musste die Wissenschaft bis zum Beginn des Satellitenzeitalters zu Beginn der 1960-Jahre (Venussonde Mariner 2, 1962) warten, um sie zu dokumentieren. Der Astronom Julius Bartels hatte sie bereits 1932 aus Beobachtungen von wiederkehrenden magnetischen Regionen, sog. M-Regionen (Stärke-Klassifizierung, M=magnetisch), nach einer Sonnenrotation von 27 Tagen (Carrington-Rotation) abgeleitet.

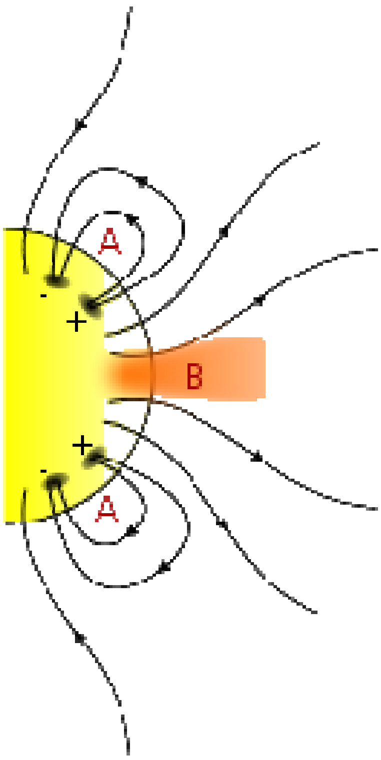
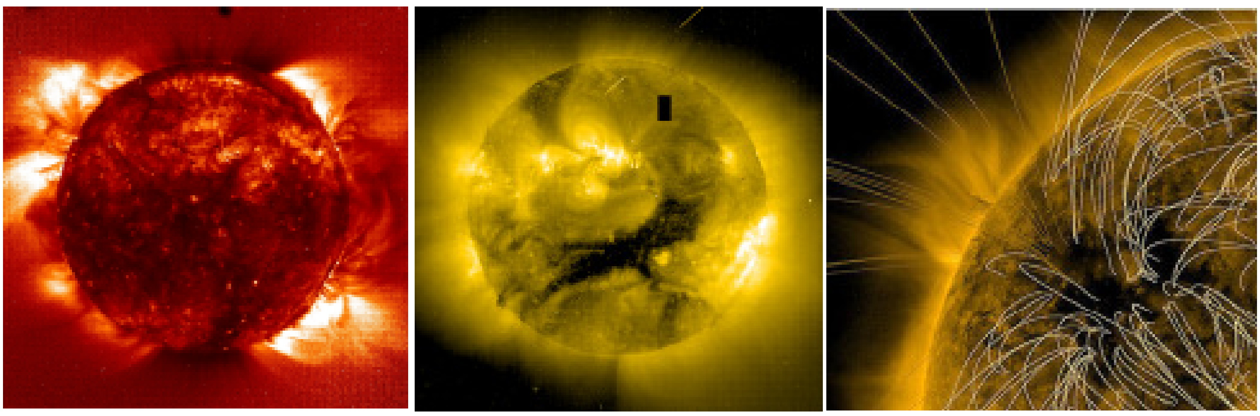


Abbildung 50: Auf koronalen Löchern stehen die Magnetfeldlinien nahezu senkrecht und weichen über die Planetenbahnen hinaus bis an die Grenze der Heliosphäre. Entlang dieser Magnetlinien bewegen sich Protonen und Elektronen schraubenförmig aufwärts. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Polarität entgegen gesetzt zueinander. Da die Partikel wegen der geringen Dichte und der senkrecht stehenden Magnetfeldlinien ungehindert die Sonne in Richtung Weltall verlassen, ist die Teilchengeschwindigkeit aus den koronalen Löchern mit mehr als 800 km/s weitaus höher, als der Sonnenwind aus den aktiven Zonen der Sonne. Während aus der Sonnenoberfläche austretende Magnetfeldlinien aus aktiven Gebieten, z.B. Sonnenflecken, auf kurzen Strecken wieder auf die Sonne treffen und die Teilchen dadurch wieder zur Sonne zurück beschleunigt werden, treten die Teilchen aus einem koronalen Loch sämtlich ins Weltall.

Koronale Löcher sind sehr stabil und können mehrere Sonnenrotationen anhalten. Während im Sonnenminimum koronale Löcher sich meist in Polnähe befinden, befinden sie sich mit zunehmender Sonnenaktivität im Äquatorbereich der Sonne. Diese entstehen dort immer dann, wenn Bereiche gleicher magnetischer Polarität nahe zusammen liegen. Dadurch werden die Magnetfeldlinien in den Grenzbereichen gestreckt und stehen nicht mehr in einem Bogen über der Sonnenoberfläche, sondern senkrecht, wodurch das Plasma als schneller Sonnenwind entweicht.



In der Abbildung 51 links zeichnen sich während des Sonnenminimums (NASA, 12.09.1997) deutlich die beiden koronalen Löcher über den Polen der Sonne ab. In der Abbildung Mitte ist ein ausgeprägtes transäquatoriales koronales Loch während dem solaren Maximum zu sehen

(SOHO, 08.01.2002) und in der Abbildung rechts der Feldlinienverlauf aus einem koronalen Loch.

Wegen der Dipolcharakteristik des solaren Magnetfeldes im Sonnenminimum, befinden sich koronale Löcher (CH) während des Abklingens des solaren Zyklus und während dem Minimum in Polnähe und ihr Auftreten ist deswegen (Dipol) insgesamt stärker ausgeprägt. So entstehen CH-getriggerte CME im solaren Minimum. Während dieser Zykluszeiten stellen koronale Löcher den Hauptfaktor für die Beeinflussung des irdischen Magnetfeldes, der Ionosphäre und der geladenen Teilchen in den unteren Atmosphärenschichten, bis in die Troposphäre. Sie erreichen dort dieselben Auswirkungen, wie hochenergetische Sonnenflares. Dies hängt damit zusammen, dass sehr viele Teilchen die koronalen Löcher verlassen können, wodurch es am Ort des Geschehens zu einer starken Verringerung der Teilchendichte kommt und am Ort der Wirkung (z.B. Erdatmosphäre), wegen dem erhöhten Teilchenfluss, zu entsprechend großen Auswirkungen.

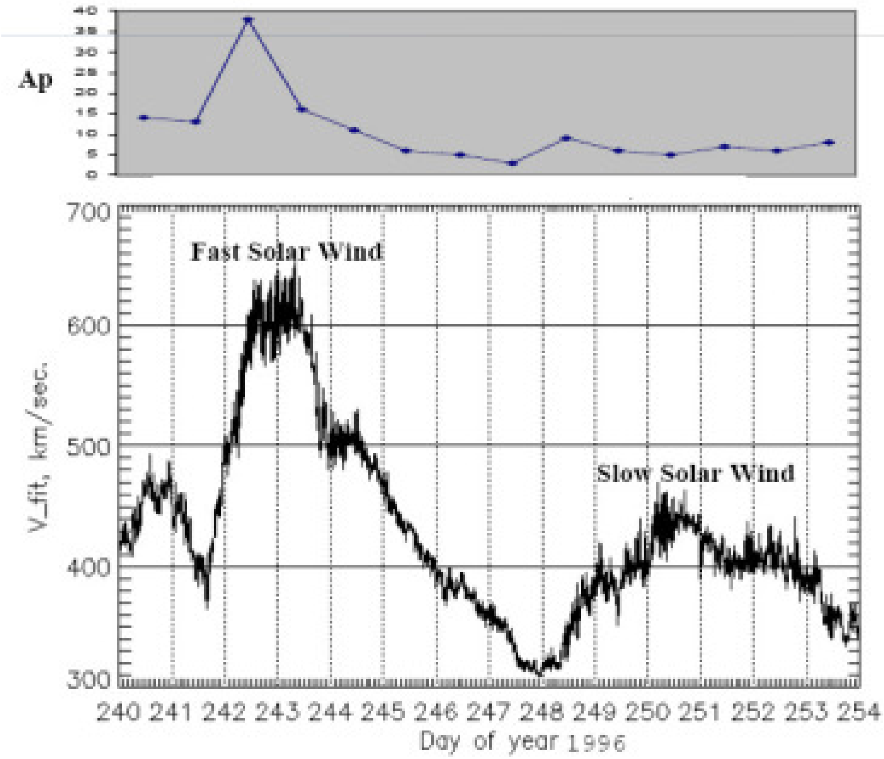


Abbildung 52 zeigt die Auswirkungen des schnellen Sonnenwindes aus koronalen Löchern und im Vergleich, die des langsamen Sonnenwind aus aktiven Zonen auf den geomagnetischen Ap-Index der Erde im Sonnenminimum, Quelle: Bothmer (Institut für Astrophysik, Uni Göttingen) und Büchner (MPS), "Physikalische Grundlagen des Weltraumwetters – Der Sonnenwind". Deutlich ist erkennbar, dass der schnelle Sonnenwind die Hauptursache für die Änderungen im Ap-Index darstellt und damit die Hauptursache für elektro-magnetisch bedingte Einflüsse in der Erdatmosphäre ist. Während der langsame Sonnenwind kaum Spuren hinterlässt, sind diese beim schnellen Sonnenwind nicht zu übersehen.

Die Korona wirkt also wie ein riesiger Teilchenbeschleuniger, der unablässig geladenes Plasma ins Weltall und damit in Richtung Erde ausstößt. Wegen der hohen Koronatemperatur gibt es kein Druckgleichgewicht zwischen ihrem Plasma und dem Weltall, wodurch ständig Materie in Form von Sonnenwind abströmt und auf der Erde Auswirkungen verursacht.

Man könnte nun davon ausgehen, dass mit zunehmender Höhe in der Sonnenatmosphäre die Temperatur abnimmt. Dies ist jedoch nicht der Fall. Das ionisierte Gas wird sprungartig auf fast 2 Mil. Kelvin erhitzt. Es muss demnach einen separaten Heizmechanismus geben, der die Korona auf die hohen Temperaturen aufheizt. Hierauf wird auf den nächsten Abschnitten eingegangen.

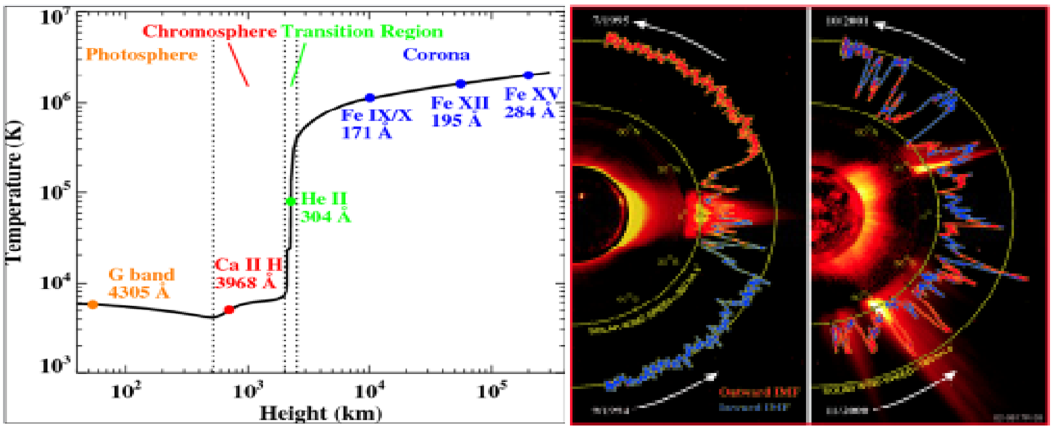


Abbildung 53 links (Yang et al., 2009, "Response of the solar atmosphere to magnetic field evolution in a coronal hole region") zeigt den Temperaturgradienten von der Sonnenoberfläche und ihrer Atmosphäre. Dazu die beobachteten Wellenlängen in Angström und das zugehörige Isotop. Mitte das koronale Magnetfeld im solarem Minimum und rechts im solarem Maximum, Quelle: (http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect20/A5a.html).

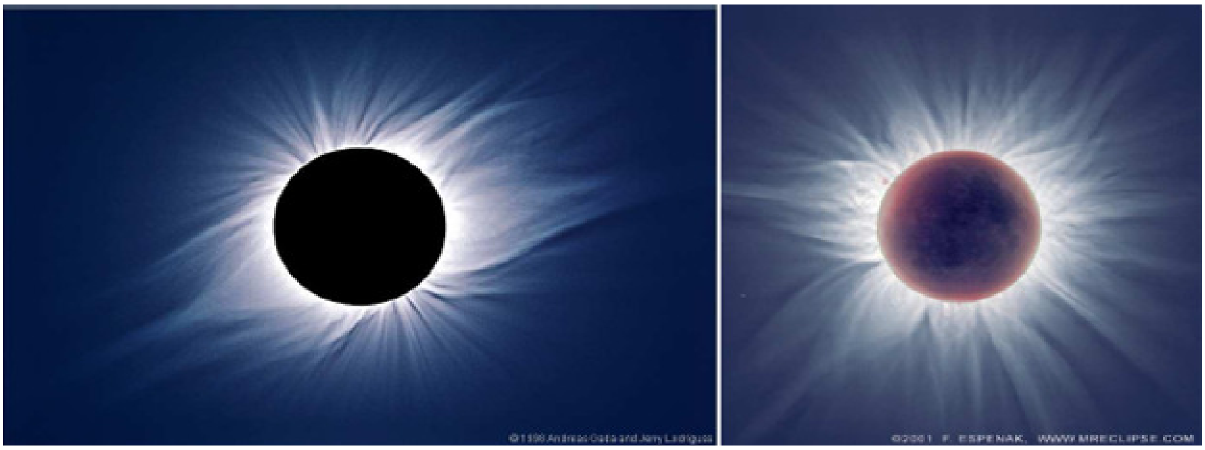
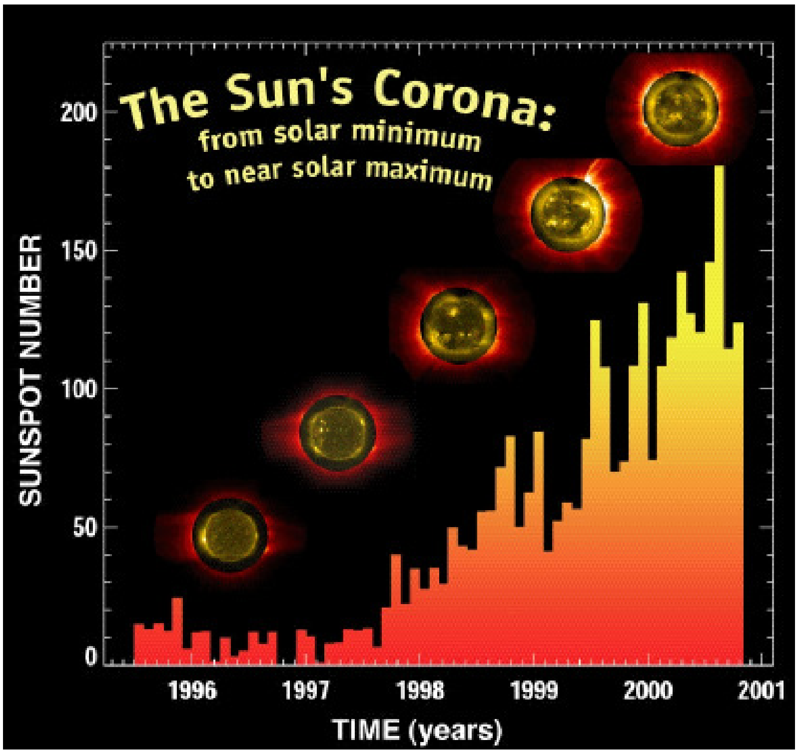


Abbildung 54 links zeigt die Korona im Minimum des Schwabe-Zyklus und die Abbildung rechts im Maximum. Sehr gut zeichnen sich im Strahlenkranz der Korona die magnetischen Feldlinien ab, in denen das Plasma gefangen ist und deren Bahnen es folgt. In der linken Abbildung ist das Dipolfeld der Sonne stark ausgeprägt, während es im Maximum nahezu vollständig verschwunden ist.



Wie Abbildung 54 bereits zeigt, wird die Korona sehr stark von der Sonnenaktivität beeinflusst. Abbildung 55, Quelle: (http://soi.stanford.edu/ results/SolPhys200/Poletto/index.html), zeigt die Korona zwischen solarem Minimum und solarem Maximum von 1996 - 2001 und dazu die Sonnenfleckenzahl. Mit zunehmender Sonnenaktivität nimmt die Strahlungsleistung der Korona beständig zu, was am Strahlenkranz um die Sonne gut zu sehen ist. Die kinetische Gastemperatur des Plasmas steigt sprunghaft von 1 Mil. Kelvin im Sonnenminimum auf nahezu 2 Mio. Kelvin, nachdem ein neuer solarer Zyklus beginnt. In aktiven Regionen können die Korona-Temperaturen auf über 10 Mio. Kelvin ansteigen. Es liegt daher nahe, die Korona unmittelbar in Relation zu Klimaereignissen auf der Erde zu setzen.

Auf Grund ihrer hohen Temperatur erreicht das Plasma einen Energieinhalt, der nicht durch die Gravitation der Sonne ausgeglichen werden kann. Da es auch keinen Druckausgleich zu dem interstellaren Medium gibt, expandiert die Korona in den Weltraum, wodurch der Sonnenwind entsteht. Da die Koronatemperaturen mit mehreren Millionen Kelvin nur im Röntgen- und extremen UV-Bereich strahlen, sind deren direkte Beobachtungen nur aus dem Weltall möglich, so dass Datenreihen nur für die letzten Jahrzehnte bestehen. Abbildung 56 zeigt die Schwankungen der Koronatemperatur über die Sonnenzyklen 22 und 23.

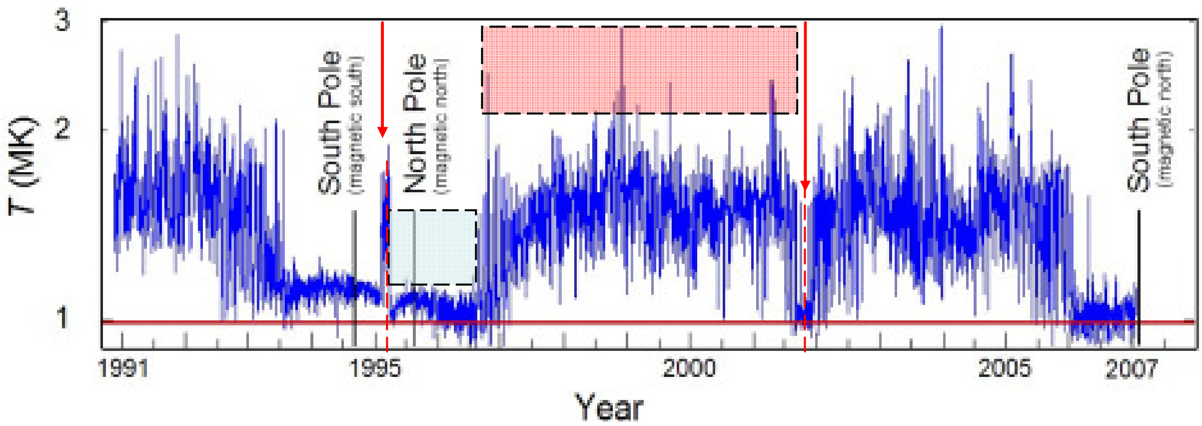


Abbildung 56, Quelle: (http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect20/A5a.html), zeigt die Koronatemperatur im Zeitraum 1991 - 2007, aufgenommen mit SWICS (Solar Wind Ion Composition Experiment) der Sonnensonde Ulysses. Auffällig ist im Minimum in 1995 ein plötzlicher Temperaturanstieg nach oben. Der Autor geht davon aus, dass es sich dabei um das exakte Ende des 22. Sonnenzyklus

handelt. Dieser Peak findet sich erstaunlicherweise in invertierter Form im Maximum des darauffolgenden Zyklus gegen Ende 2002. Er fällt zusammen mit dem Maximum der magnetischen Aktivität (siehe Untersuchungen von Wilson & Hathaway in der Fortsetzung) und dem Maximum des Hauptsonnenzyklus, dem im Mittel 208 jährigen de Vries-Suess-Zyklus (rote Pfeile). Der Autor geht weiter davon aus, dass zwischen den beiden Zeitblöcken (rot und blau hinterlegte Flächen) und der plötzlichen Max/Min, ein exakter Zusammenhang besteht, der Prognosen über die zukünftige Sonnenaktivität deutlich präziser ermöglicht, als dies gegenwärtig durch die Modelle von Hathaway (NASA) der Fall ist.

Was könnte nun der Grund für dieses sonderbare Verhalten der Sonne sein, einmal die Koronaheizung im Minimum kurz anzuschalten und einmal, im Maximum genauso plötzlich wieder kurz auszuschalten? Der Grund auf kleinen Skalen (Tage/Wochen) liegt in der Sonnenheizung, auf die in den nächsten Abschnitten noch näher eingegangen wird. Keine der gängigen Sonnenparameter, weder die Sonnenfleckenzahl, noch der TSI, ebenfalls nicht die Zeitreihe der koronalen Massenauswürfe CME, weder die IMF, auch keine ihrer Komponenten, auch nicht der Non-axixymmetric Open Flux, noch der Sonnenwinddruck zeigen zu besagten Zeitpunkten Anfang 1995 und Ende 2002 Auffälligkeiten.

Einen Hinweis könnte jedoch die Zeitreihe der Sonnenwindgeschwindigkeit geben.

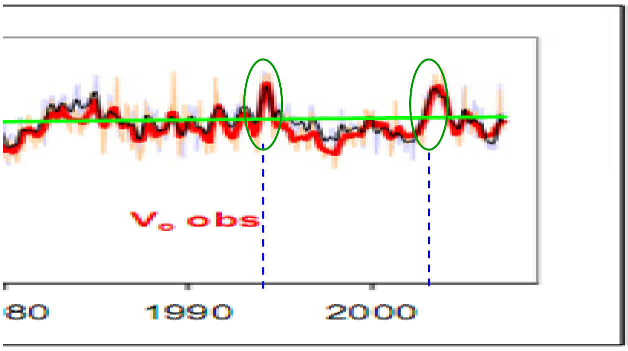


Abbildung 57 zeigt die Sonnenwindgeschwindigkeit (Ausschnitt aus Quelle: http://www.leif.org/research/files.htm). Deutlich ist erkennbar, dass zu beiden Zeitpunkten ein deutlicher Anstieg (Peak) zu verzeichnen ist.

Verbunden mit der Kenntnis, dass der schnelle Sonnenwind aus den koronalen Löchern kommt, zeichnet sich ab, dass die Ursache und die Lösung auf großen Skalen in den polaren Löchern in der Korona zu suchen ist.

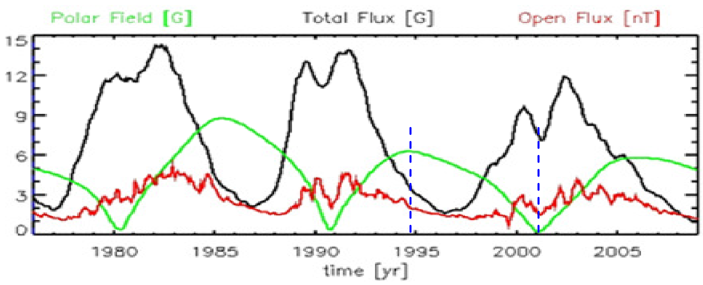


Abbildung 58 zeigt die magnetischen Aktivitätszyklen (http://www.mps.mpg.de/projects/solar-mhd/research_new.html). Grün ist das Polare Magnetfeld der Sonne abgebildet. Zum Jahreswechsel 1994/1995 liegt das Maximum und zu Beginn 2002 ihr Minimum (blaue Linien). Zu beiden Zeitpunkten dreht also das polare Feld.

Eine theoretische Erklärung für die plötzlichen Spitzen im Verlauf der Koronatemperatur sind Flussänderungen und dadurch ausgelöste Induktionsvorgänge in der Konvektionszone der Sonne. Kommt eine elektrisch leitfähige Masse zum Stillstand und wechselt anschließend ihre Fließgeschwindigkeit, so wird nach der Lenzschen Regel ein Induktionsvorgang ausgelöst, der einen magnetischen Strom erzeugt, der sich letztendlich in einer Energieabgabe äußert. Bei Elektromotoren wirkt sich der Effekt durch einen starken Stromanstieg aus, wenn der Rotor blockiert. Der Peak markiert aus Sicht des Autors den exakten Zeitpunkt der Flussumkehr und

damit den Beginn des neuen Sonnenzyklus. Der plötzliche Peak in der Mitte des solaren Zyklus ist der umgekehrte Fall.

Solange sich elektrisch leitfähige Massen in einem rotierenden Magnetfeld in Relativgeschwindigkeiten zueinander bewegen, so lange wird durch Induktionsvorgänge (im Innern der Sonne zirkulieren Ströme von 1.000 Milliarden Ampere) die magnetische Aktivität, die durch das innere Magnetfeld der Sonne vorgegeben ist, verstärkt. Haben die Massen nun relativ zueinander gleiche Geschwindigkeiten, so bricht exakt in diesem Moment die Induktion zusammen, was zur plötzlichen Abschwächung der magnetischen Ströme und damit des Magnetflusses führt und die Koronazusatzheizung sozusagen abstellt. Als Zusatzheizung ist der Mechanismus zu verstehen, der die Koronatemperatur nach einem Sonnenminimum auf ihren doppelten Wert anhebt. Dabei handelt es sich um magnetische Wechselströme, die magnetische Wellen verursachen, sog. Alvén-Wellen, sowie Nano-Flares (später im Text).

Wie sich die Strahlungsleistung und damit Energieabgabe der Korona im 20. Jahrhundert änderte, zeigt die folgende Abbildung.

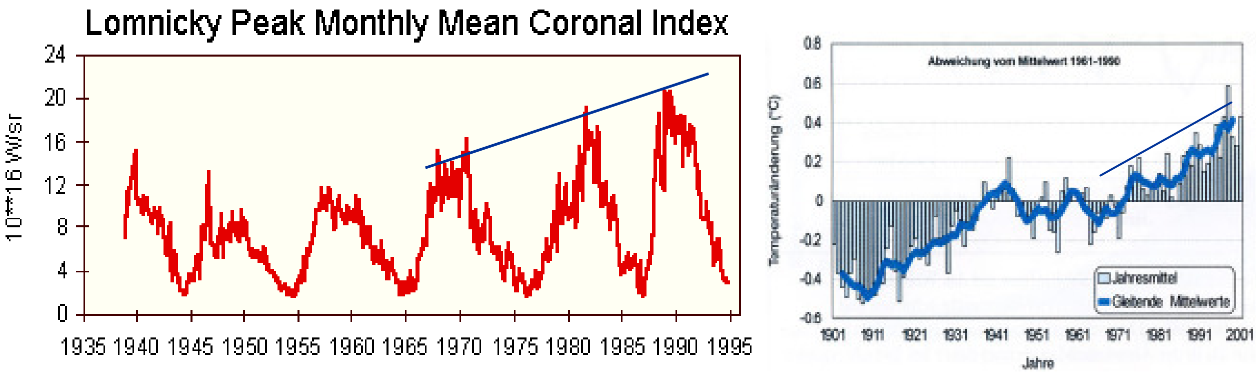


Abbildung 59 links (Quelle: http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/solarda3.html) zeigt die gesamte Strahlungsleistung der Korona von 1938 - 1995 in W/sr, mit r = 2.800 MHz Radio flux. Deutlich ist zu sehen, dass parallel zum (leichten) Temperaturanstieg auf der Erde, die Strahlungsleistung der Korona stark (25%) ansteigt. Hierbei handelt es sich um die tatsächliche Strahlungsleistung und nicht, wie beim TSI, um die Strahlungsleistung eines kleinen Wellenlängenbereiches (TSI = 200 nm - 2.000 nm). Die NASA beweist damit, dass die Sonne bis zum ausgehenden 20. Jahrhundert immer aktiver wurde. Die rechte Abbildung zeigt die globale Temperaturentwicklung nach Jones.

Koronaheizung

Wie wird nun die Korona so viel heißer wie die Photosphäre? Ein Grund ist natürlich deren geringere Dichte. Bei gleicher Dichte wie in der Photosphäre wäre die Korona keine 2 Millionen Kelvin heiß. Bei der Koronaheizung wirken im Wesentlichen zwei Mechanismen, die beide auf magnetischen Ursachen beruhen, die, die in die Korona reichenden Magnetfelder auslösen, die ständig im leitfähigen Plasma elektrische Ströme induzieren.

Einigkeit in Fachkreisen besteht darüber, dass die heiße Korona nur durch eine zusätzliche Heizung bestehen kann. Eine aussichtsreiche Erklärung ist die Heizung an elektrischen Stromschichten. Diese bilden sich im unteren Bereich der Korona, wo sich das äußerst komplexe Magnetfeld der Sonne sprunghaft ändert. Gemäß den Gesetzen des Elektromagnetismus wird in solchen Stromschichten Energie freigesetzt, mit der die Korona geheizt wird.

Die Energie muss aber letztendlich in Wärme umgewandelt werden. Hierfür kommen zwei Prozesse in Frage, Alfvén Wellen und Nanoflares. Der Beweis gelang 1998 durch TRACE, das beobachtete, wie ein starker Flare in benachbarten Bögen Wellen auslöste, worauf die Bögen hin und her schwangen. Die Dämpfung erfolgte dabei Millionen-mal schneller, als von der Theorie vorhersagt. Waleri M. Nakariakow et al. (St. Andrews-Universität, Schottland) konnten damit zeigen, das magneto-hydrodynamische Wellen ihre Energie an die Korona übertragen können.

Alfvén Wellen

Seit langem ist durch Beobachtungen bekannt, dass sich in der Sonnenatmosphäre magneto-akustische Wellen ausbreiten. Jedoch ist deren Energie zu gering, um die Koronaheizung zu erklären, zumal deren Energie bereits in der Chromosphäre abgegeben wird.

In den magnetischen Flussröhren, die aus der Sonnenoberfläche austreten, entstehen oszillierende Torsionsschwingungen. Dabei handelt es sich um Ionen-Zyklotronwellen, die eine spezielle Form von magnetischen Schwingungen, Alfvén Wellen (schwedischer Physiker und Astronom Hannes Olof Gösta Alfvén, der sie 1938 theoretisch begründete) auslösen. Alfvén Wellen sind niederfrequente Oszillationen von Ionen in einem magnetischen Feld. Die Bewegung der Ionen führt dabei zu einer Störung des Magnetfelds und erzeugt auf diese Weise eine Rückstellkraft, die für die Aufrechterhaltung der Schwingungen sorgt. Alfvén-Wellen breiten sich dispersionslos (Wellenlänge ohne Einfluss auf Ausbreitungsgeschwindigkeit) in Richtung des Magnetfelds aus.

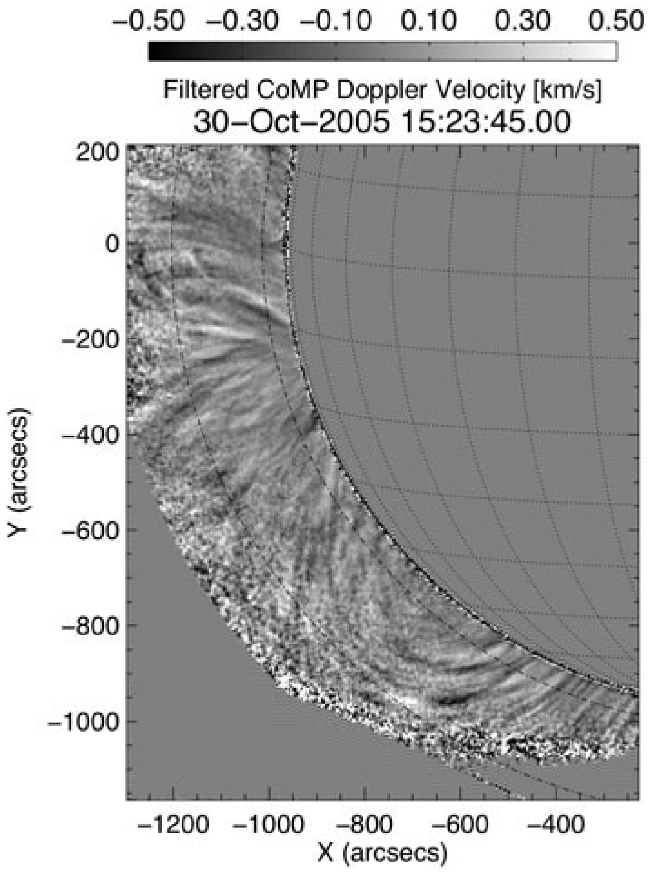
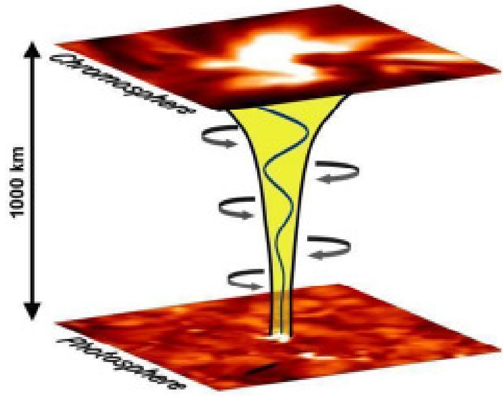


Abbildung 60: Alfvén-Wellen sind sich schnell bewegende Störungen entlang der Magnetfeldlinien in der Sonnenkorona, die Energie nach außen transportieren. Ihre Existenz in der Heliosphäre war seit längerem bekannt, doch noch nicht beobachtet worden, weil Alfvén-Wellen sehr schwer zu entdecken sind, da sie keine großen Fluktuationen in der Sonnenkorona auslösen, wie z.B. bei anderen Wellen üblich. Des Weiteren sieht es so aus, dass sich die Wellen immer mit derselben Geschwindigkeit fortzubewegen, weswegen sie schwer zu detektieren sind. Üblicherweise werden Wellen durch eine Geschwindigkeitsänderung entdeckt. Die Abbildung links (Quelle: National Center for Atmospheric Research) zeigt sich ausbreitende Alfvén Wellen entlang magnetischer Feldlinien in der Korona. Mit einer Ausbreitungsgeschwindigkeit (Phasengeschwindigkeit) von 4.032 km/s sind sie sehr schnell und transportieren ihre Energie entsprechend in die Korona, was z.B. die schnellen Zykluswechsel in der Korona-Temperatur von SWICS erklären würde.

Einem Team um den Sonnenphysiker David B. Jess (University of Belfast), "Alfvén Waves in the Lower Solar Atmosphere", Science 323, 1582 (2009) gelang es, die Existenz von Alfvén Wellen anhand von Phasenverschiebungen nachzuweisen.



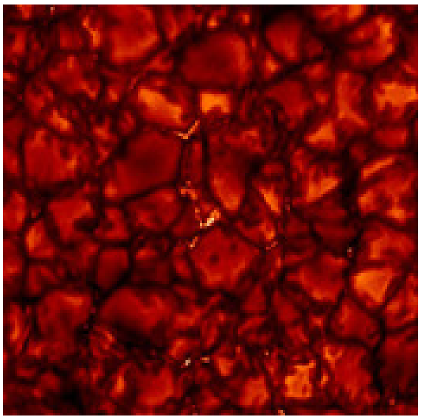


Abbildung 61 links zeigt anschaulich, wie durch die Oszillation von Plasma in einer magnetischen Flussröhre Alfvén Wellen entstehen. In den hellen Flächen der Abbildung rechts gelang es Jess et al. 2009, Alfvén Wellen direkt nachzuweisen. Die Messungen zeigten in der Wasserstoff-Alpha-Linie (oder Lyman-alpha-Linie) periodische Oszillationen der Linienbreite, die nach der Theorie Alfvén Wellen verursachen, weil Alfvén Wellen Torsionsschwingungen in magnetischen Flussröhren erzeugen, die simultan Blau- und Rotverschiebungen erzeugen, was in den hellen Gebieten beobachtet wurde.

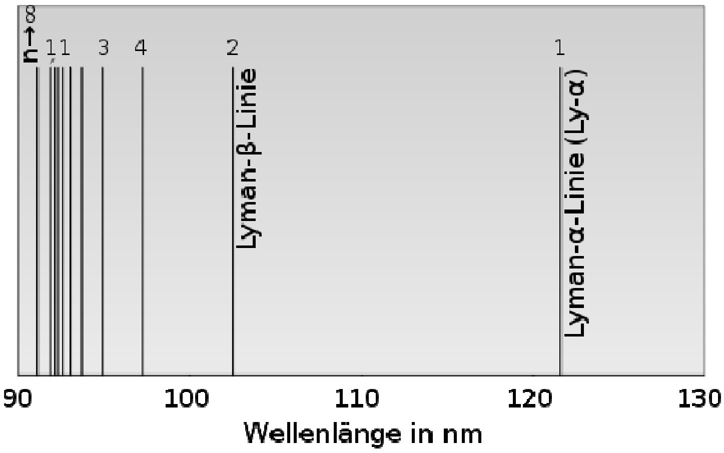


Abbildung 62 zeigt die Lyman-Serie. Sie ist eine Abfolge von Spektrallinien des Wasserstoffatoms im Ultraviolettbereich zwischen ca. 91-121 nm. Die Alpha-Linie hat mit 121,6 nm die größte Wellenlänge. Die Lyman-Spektrallinien werden von Astronomen für die Untersuchung von Sternen verwendet und gehen auf den amerikanischen Physiker Theodore Lyman zurück, der sie 1906 entdeckte.

Anhand ihrer Berechnungen kommen die Forscher zu dem Ergebnis, dass die so transportierte Energie ausreichend ist, die Koronatemperatur zu begründen. Dass Magnetfelder für die Koronaheizung eine Schlüsselrolle spielen, liegt nahe, denn dort, wo sie am stärksten sind, ist die Korona am heißesten. Wie bereits geschildert, zeigt die Korona eine starke thermische Struktur.

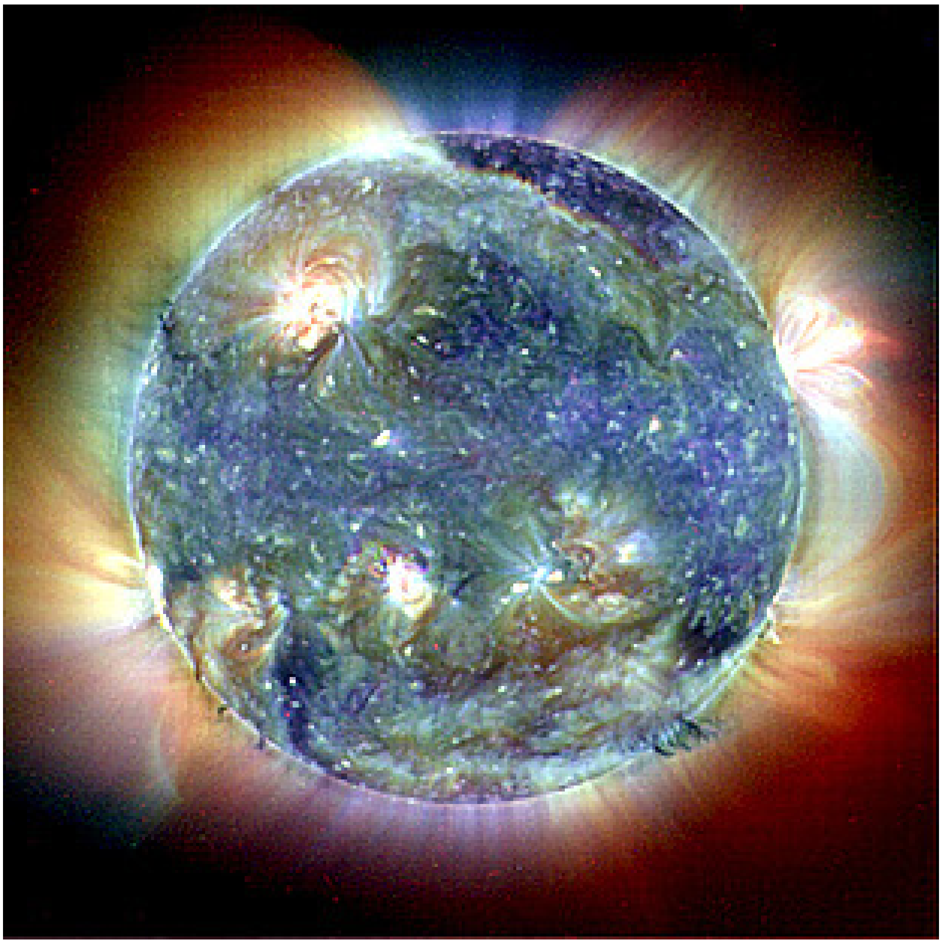


Abbildung 63 (NASA) zeigt die Korona im extremen Ultraviolett (EUV). Die rote Farbe (über den aktiven Regionen) entsprechen Temperaturen von 2 Mio. Kelvin und mehr, grün ca. 1,5 Mio. Kelvin und blau ca. 1 Mio. Kelvin. Die hellen weißen Flecken weisen ein Gemisch aller Temperaturen auf, was auf die Newtonsche Farbmischung zurückgeht. Am Nordpol ist ein koronales Loch sichtbar, das in blau strahlt, also relativ kühl ist. Die Abbildung zeigt die Sonne im Jahr 1999, während ihrer aktiven Phase im 23. Sonnenzyklus. In den aktiven Regionen, in denen das Magnetfeld mit 100 Gauss ca. 10-mal höher wie in der übrigen Korona ist, sind die Temperaturen am höchsten, was den Zusammenhang zwischen Temperatur und Magnetfeld offenkundig werden lässt.

Nano-Flares

In den eingangs geschilderten Stromschichten liegen Magnetfeldlinien unterschiedlicher Polarität sehr eng zusammen. Komplexe plasmaphysikalische Prozesse können zur Neuverbindung (Rekonnexion) dieser Magnetfeldlinien führen, wobei große Energiemengen explosionsartig freigesetzt werden, die geladenen Teilchen beschleunigt und aufheizen. Doch auch diese Theorie konnte nicht durch Beobachtungen bestätigt werden, da die Genauigkeit der benutzten Messmethoden nicht ausreicht, um das Magnetfeld in der unteren Korona zu messen.

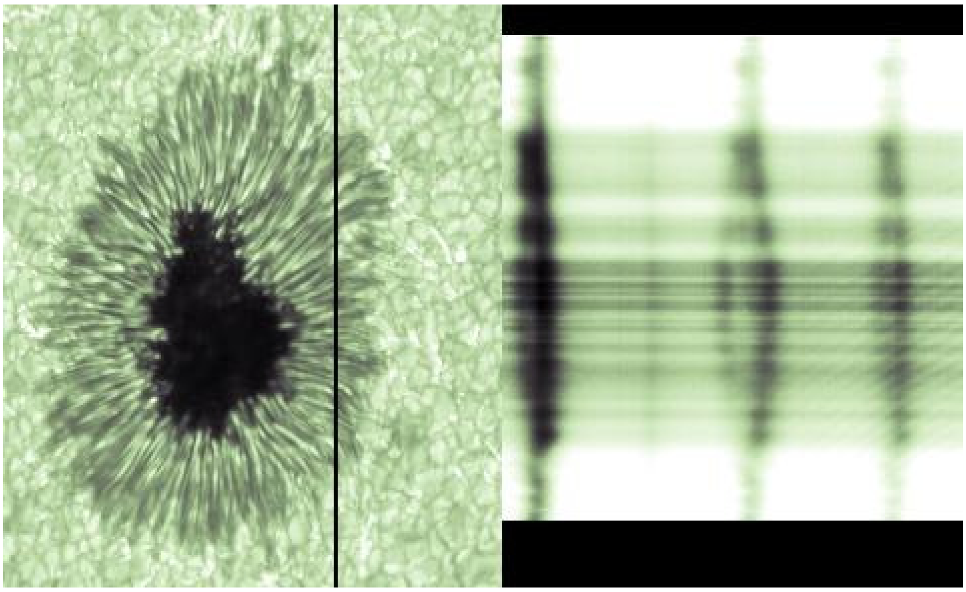


Abbildung 64: Magnetfelder der Sonne werden bereits seit gut 100 Jahren mit Magnetographen, die den Zeeman-Effekt benutzen, gemessen. Dieser Effekt besagt, dass sich in Anwesenheit eines Magnetfeldes die Spektrallinien in zwei oder mehr Linien mit etwas unterschiedlichen Wellenlängen aufspalten, was gleichzeitig mit Polarisation verbunden ist. Die Abbildung 64 zeigt einen Sonnenfleck mit zugehörigem Spektrum und Linienaufspaltung. Die senkrechte dünne Linie stammt vom Spektrographenspalt des Messgerätes.

Aus deren Aufspaltung kann das magnetische Feld gemessen werden. Beobachtungen der Korona (Magnetfeldstärke mit ca. 10 Gauss ist dafür zu gering) sind damit noch nicht gelungen, da die Aufspaltung der Spektrallinien, die sie ausstrahlt, für die heutige Messtechnik zu gering ist.

Durch die eingangs geschilderte Rekonnektion, was etwa so viel wie Kurzschluss bedeutet, kommt es, genau wie bei einem elektrischen Kurzschluss, zu einer explosionsartigen Entladung und damit zu einer explosionsartigen Freisetzung von Energie, wodurch Sonnenflares ausgelöst werden. Deren Energieinhalt liegt bei ca. 6 x 10^{25} Joule. Zu den bekannten, weil direkt beobachteten Flares kommt es auf kleinen Einheiten zu Mikro- bzw. zu noch kleineren Nanoflares, die wiederum magnetische Wellen aussenden. Deren Energie liegt bei ca. 10^{17} - 10^{19} Joule, was der Energie von 1.600 - 160.000 Hiroschimabomben entspricht.

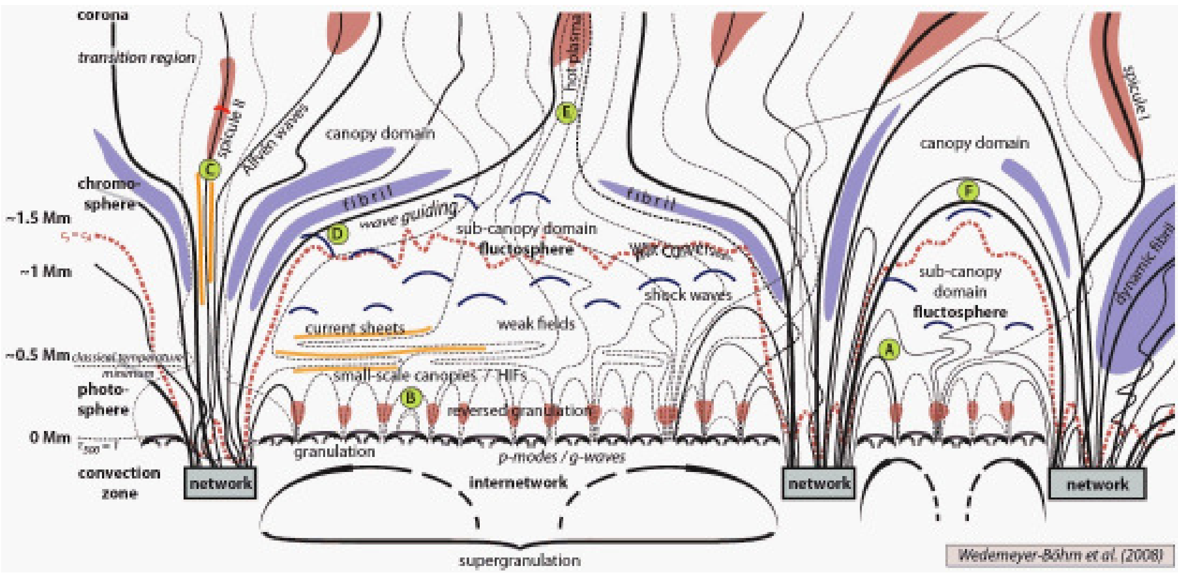


Abbildung 65 (Wedemeyer-Böhm et al., 2008, "Coupling from the Photosphere to the Chromosphere and the Corona") zeigt aus der Sonne austretende Magnetfeldlinien (network), in denen es durch Rekonnektion zu Nanoflares kommt, die wiederum Alfvén Wellen auslösen, die bis in die Korona reichen. Durch die Granulation der Sonnenoberfläche, das auf-und Absinken von Materie durch Konvektion um einige Kilometer, werden akustische Wellen (shock

waves mit einer Periode von 5 Minuten) ausgelöst, die die Chromosphäre heizen. Zwischen den Magnetfeldern unterschiedlicher Polarität bilden sich Stromschichten (current sheets) aus, die zeitlich stark fluktuieren.

Durch die Freisetzung hochenergetischer Energie in Form von Röntgenstrahlung und UV-Strahlung wird das Koronaplasma mit Energie versorgt und die Temperatur der Korona dadurch erhöht. Wogegen Flares vorwiegend in aktiven Regionen der Sonne auftreten, sind Nano- und Microflares auch in ruhigeren Gebieten der Sonne vorhanden.

Diese Mikroflares verursachen seismische Wellen, die die Sonnenoberfläche durchziehen (Abbildung 66, Quelle: NASA). Ein Forscherteam um Robert Lin (University of California in Berkeley) werteten dafür über 10.000 Mikroflares aus und konnten dabei zeigen, dass aufgrund ihrer hohen Anzahl, diese einen starken Einfluss auf das Sonnenwetter haben, Quelle: (http://www.sciencedaily.com/releases/2003/07/030721084713.htm).

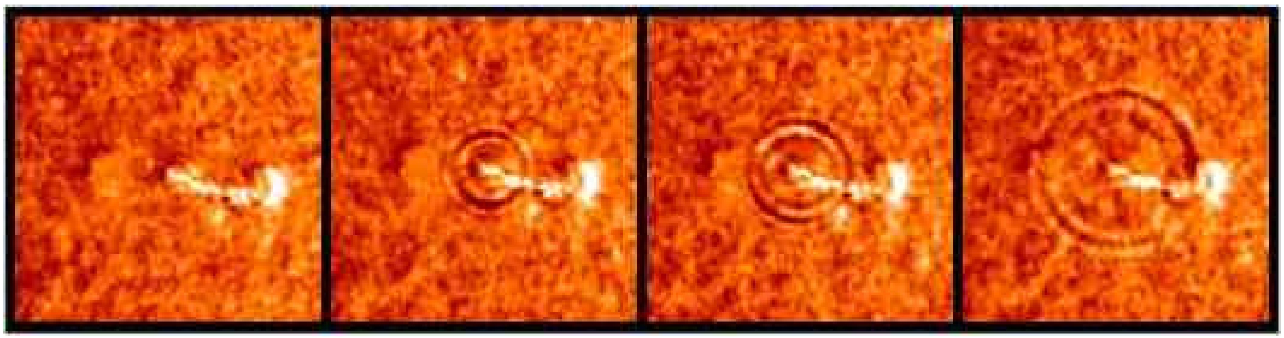


Abbildung 66: Die Bildsequenz zeigt den Ausbruch eines Mikroflares und dadurch verursacht, die Ausbreitung seismischer Wellen auf der Sonnenoberfläche und wie ein Materiejet aus der Sonne herausschießt.

Dass Nano- und Mikroflares die entscheidende Ursache (weitere Forschungsarbeiten sind notwendig, dies zu erhärten) für die Koronaheizung sind, hat ein Team um den Astrophysiker James Klimchuk, vom Laboratorium für solare Physik des Goddard Space Flight Center der NASA, erhärtet "Nanoflares heizen Sonnenkorona auf" (scinexx vom 19.08.2009).

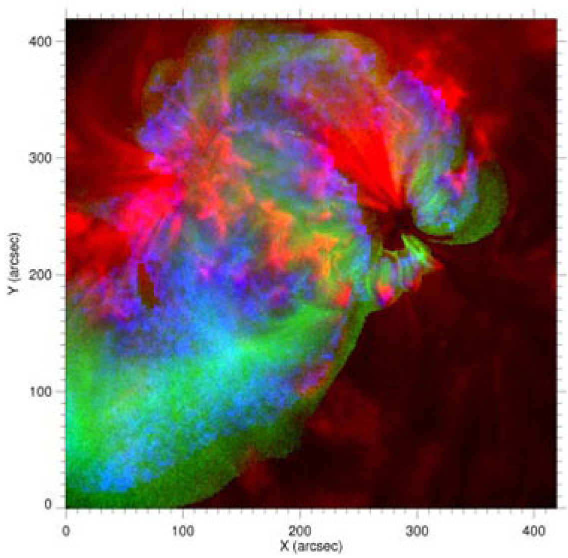


Abbildung 67: Das Falschfarbenphoto eines Nanoflares (Quelle: NASA/ Goddard Space Flight Center) zeigt dessen Temperaturprofil. In den blauen Regionen steigt die Temperatur auf 10 Millionen Kelvin. Durch die Messungen der japanischen Sonnensonde Hinode konnte nachgewiesen werden, dass Nanoflares Strahlungsausbrüche mit Temperaturen von bis zu 10 Millionen Kelvin erzeugen.

Wodurch werden Micro- und Nanoflares ausgelöst? Die Erklärung sind die sog. "Bright Points". Dabei handelt es sich um zahlreiche, nur 100 km große helle Punkte, die durch kleine

Magnetfeldkonzentrationen hervorgerufen werden. Es wird angenommen, dass sie Überreste von Flecken darstellen oder lokal durch magnetokonvektive Vorgängen entstehen. Das letztere dürfte nach Ansicht des Autors die Ursache sein, sonst wären im Fleckenminimum nicht noch hunderttausende zu erkennen.

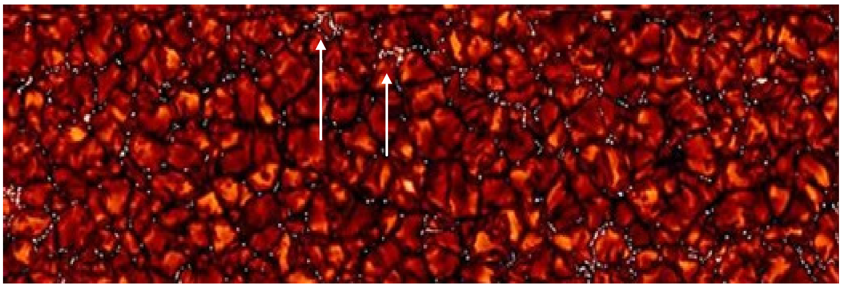


Abbildung 68: Bei den gegen Ende des 20. Jahrhunderts entdeckten "Bright Points" (Pfeile) handelt es sich um Magnetfeldröhren. Dass diese im Gegensatz von z.B. Sonnenflecken heller, also heißer als ihre Umgebung sind, liegt zum einen daran, dass bei Sonnenflecken die unterdrückte Konvektion überwiegt, weil die zu heizende Fläche mit dem Quadrat, die Fläche der heißen Wände aber nur linear mit dem Durchmesser zunimmt.

Bright Points weisen eine erheblich geringere Massendichte als ihre Umgebung aus. Dadurch blickt man durch die Röhre in tiefere, heißere Schichten der Sonne. In den Magnetfeldröhren wird der magnetische Druck stark verstärkt. Dieser muss durch einen verringerten Druck im Plasma ausgeglichen werden, damit die Region im Druckgleichgewicht bleibt und nicht zusammenfällt. Wegen der hervorragenden Wärmeleitfähigkeit des Materials kann dies nicht durch Abkühlung, sondern nur durch eine Verringerung der Plasmadichte erreicht werden. Dadurch wird das Plasmapaket leichter und erhält eine Auftriebskraft. Die folgende Abbildung gibt einen Größenvergleich der Bright Points wieder.

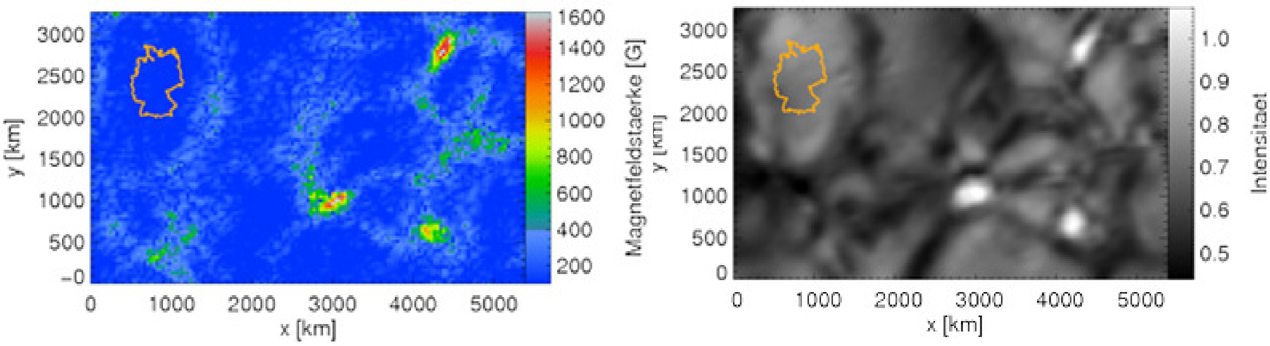


Abbildung 69 links zeigt drei Bright Points auf der Sonnenoberfläche und dazu ihre Helligkeitsintensität. Rechts ist das magnetische Profil desselben Raumabschnittes abgebildet. Deutlich ist zu sehen, dass in den Bright Points die magnetische Feldstärke sehr stark erhöht ist, wodurch der Beweis erbracht ist, dass es sich um magnetische Flussröhren handelt. In beiden Abbildungen sind als Größenvergleich die Umrisse Deutschlands zum Vergleich eingezeichnet, Quelle: MPG, 05.11.2010,

Aufgeheizt werden die Magnetfeldröhren neben der induktiven, magnetischen Erwärmung durch die umliegenden heißen Wände. Die stetige Energiezufuhr und die dadurch gespeicherte Energie könnten beim Zerfall der Magnetfeldröhren, wenn kein Druckgleichgewicht mehr aufrechterhalten werden kann, zu Ausbrüchen und damit zu Mikroflares, bzw. zu Nanoflares führen. Ähnlich beim Zusammenbruch eines Sternes, der durch magnetische Prozesse getrieben wird. Die folgende Abbildung zeigt, wie durch Rekonnektion in zeitlich kurzer Abfolge ein Mikroflare ausgelöst wird.

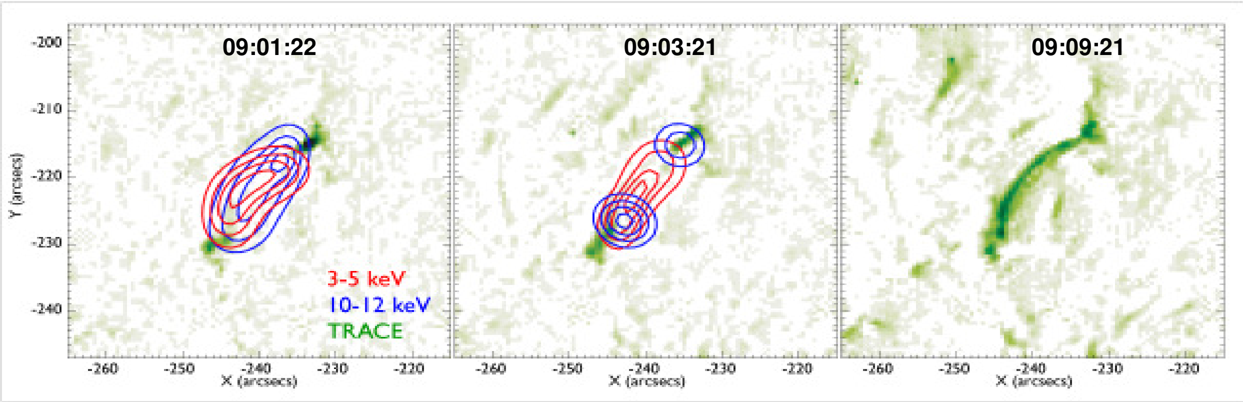


Abbildung 70: Die Bildsequenz, Quelle: ”X-ray Imaging & Spectral Statistics of Small Solar Flares Observed with RHESSI”, Iain G. Hannah et al. Space Sciences Laboratory, University of California, Berkeley (http://www.mssl.ucl.ac.uk/www_solar/seminars_files/Presentations/Hannah_20070425.pdf) zeigt, wie durch magnetische Rekonnektion (links und Mitte) ein Mikroflare (rechts) ausgelöst wird. Dabei geht die Rekonnektion der höheren Energie, der der niederen Energie voraus (Mitte).

Durch die kleinsten bekannten solaren Einheiten (Gebilde), die Bright Points, wird die Temperatur der Korona maßgeblich bestimmt. Zu diesem Ergebnis kommt das Forscherteam um **Prof. Solanki** (MPS), das dies anhand von Daten der Sonde “Sunrise“ beweisen konnte “SUNRISE enthüllt magnetische Grundbausteine der Sonne“, Max Planck Gesellschaft, 05. November 2010. Sie sollten darüber hinaus auch für die in Abbildung 56 gezeigte Regelung der Korona-Temperatur verantwortlich sein. Also das Zuschalten der „Koronaturboheizung“, wenn die Koronatemperatur von 1 Mil. Kelvin im solaren Minimum, auf annähernd ihren doppelten Wert ansteigt.

Wo entstehen die Bright Points? Die Antwort gibt die folgende Abbildung.

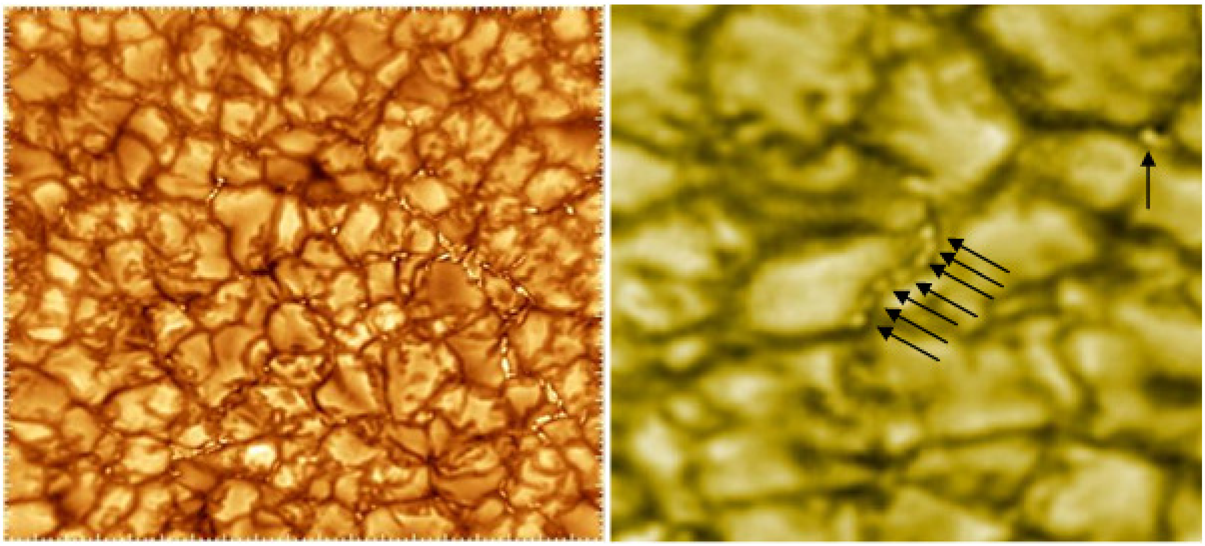


Abbildung 71 links zeigt die Granulation der Sonnenoberfläche als netzartige Struktur. Diese Granulen haben eine Ausdehnung von einigen tausend Kilometern. Man erkennt zwischen den Granulen kleine helle Punkte. Abbildung rechts zeigt als Vergrößerung einige Granulen und dazwischen, gut erkennbar (Pfeile), die Bright Points. Beide Photos, Quelle: (http://www.physorg.com/news161972205.html).

Warum entstehen die Bright Points nur zwischen den Granulen? Die Antwort wurde bereits auf den vorherigen Seiten (indirekt) gegeben. Sie liegt in der bewegten Sonnenoberfläche.

In den Granulen steigt heißes Plasma nach oben. In den vorigen Abbildungen gut an der helleren Farbe in der Granulenmitte zu erkennen. Dieses Plasma erfährt an der Sonnenoberfläche eine Abkühlung, wodurch es schwerer wird und absinkt. Dies kann es aber nicht in den Granulen, weil dort das heiße Plasma von unten aufsteigt, sondern nur an ihren Rändern. Zu erkennen an der dunkleren Farbe an den Granulenrändern. Durch diesen Effekt kommt es zu einem beständigen brodeln der Sonnenoberfläche. Durch die Relativbewegung von elektrisch leitfähigen Materialien (Plasma) an den Granulenrändern werden Induktionsvorgänge ausgelöst, die zu örtlichen magnetischen Strömen, bzw. zu Magnetfeldern führen. Die Bewegungsenergie des Plasmas wird in magnetische Energie gewandelt.

Durch den magnetischen Fluss ist der magnetische Widerstand in diesen Zonen gemäß dem **Hopkinsonschen Gesetz** ($U_m = R_m \cdot \Phi$, Φ = magnetischer Fluss) reduziert und dadurch die magnetische Leitfähigkeit erhöht. Die Magnetfelder aus der Konvektionszone der Sonne suchen sich aus dem Sonnenmantel (Konvektionszone) den Weg des geringsten Widerstandes, genau wie elektrische Ströme. Dies ist zwischen den Granulen. Sind nun die, auf Grund der Relativbewegung entstehenden magnetischen Felder zwischen den Granulen phasengleich, also richtungsgleich zu den aus der Sonne austretenden Magnetfeldern, findet eine Verstärkung statt, wodurch der magnetische Widerstand weiter reduziert wird. Dies sollten die Bereiche sein, in denen die Bright Points entstehen. Es sind die Bereiche des geringsten magnetischen Widerstands. In ihnen tritt das Magnetfeld der Sonne verstärkt an die Oberfläche.

Das MPS ermittelte die Feldstärke in den Bright Points mit bis zu 1.800 Gauss, was der 3.000-fachen Stärke des Erdmagnetfeldes entspricht. Ihre Temperatur liegt um ca. 1.000°C höher als in ihrer nichtmagnetischen Umgebung (The Astrophysical Journal Letters, 723, L127 - L189). Weiter konnten die Wissenschaftler erstmals die Helligkeit der Bright Points im UV-Bereich bestimmen. Diese ist etwa fünf Mal stärker als in der Umgebung. **Tino Riethmüller** vom MPS: *"Nur so ist es möglich, den Beitrag der hellen Flecken zu den Helligkeitsschwankungen der Sonne abzuschät-zen".* Ein Seitenhieb an die Adresse der tendenziösen Arbeit von Spruit et al., die anhand von Helligkeitsuntersuchungen herausgefunden haben wollen, dass die Sonne seit 50 Jahren nicht aktiver geworden sei. Nun, zu der Aussage war Henk Spruit bei seinen Untersuchungen in 2006 noch gar nicht in der Lage und sein Endergebnis ist somit in die berühmte Tonne zu werfen.

Da die Erdatmosphäre die UV-Strahlung in der Stratos- und oberen Troposphäre fast vollständig absorbiert, spielt dieser Teil des Sonnenlichts eine wesentliche Rolle bei der Erwärmung der oberen Luftschichten und somit auf das Klima- und Wettergeschehen der Erde.

Diese magnetischen Flussröhren, die sich optisch als Bright Points abbilden, sind mit knapp 100km Durchmesser die kleinsten bekannten Einheiten des solaren Magnetfeldes. Sie sind auf Grund der sich über die gesamte Sonnenoberfläche erstreckenden netzartigen Struktur der Granulen auch in den ruhigen Gebieten der Sonne zu finden. Wie noch gezeigt wird, ist das Polare Feld der Schalter, der die Koronaturboheizung ein, bzw. abschaltet.

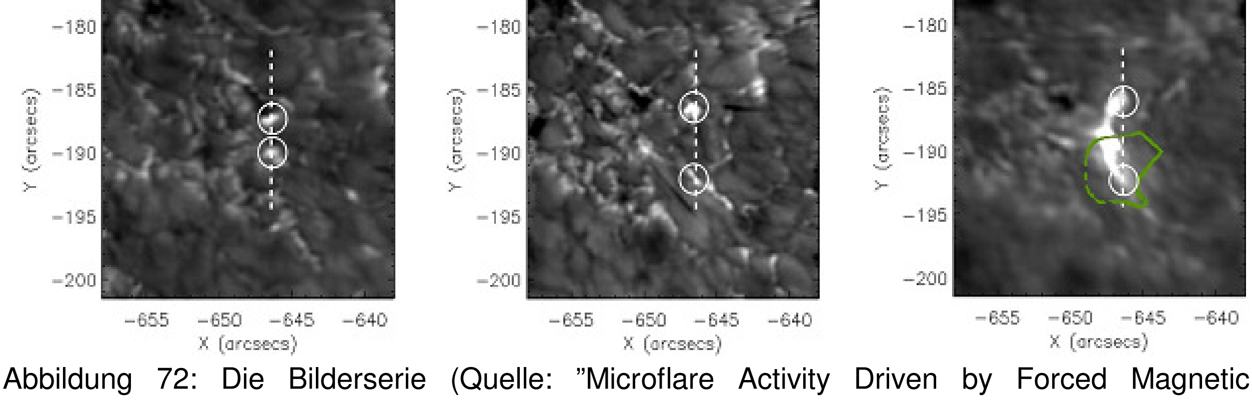


Abbildung 72: Die Bilderserie (Quelle: "Microflare Activity Driven by Forced Magnetic Reconnection" D.B. Jess et al.) zeigt, wie aus zwei Bright Points (weiße Kreise) ein Mikroflare (Abbildung rechts) ausgelöst wird. Grün ist die neutrale Linie zwischen den entgegen gesetzten magnetischen Polen.

Wie steuern die Vorgänge in der Konvektionszone der Sonne die Bright Points? Letztendlich wird Bewegungsenergie im Plasma in magnetische Energie gewandelt, wobei es keine einheitliche Bewegungsrichtung, sondern überlagerte Bewegungen gibt. Den Hinweis zur Antwort geben die folgenden Abbildungen, Quelle: NASA.

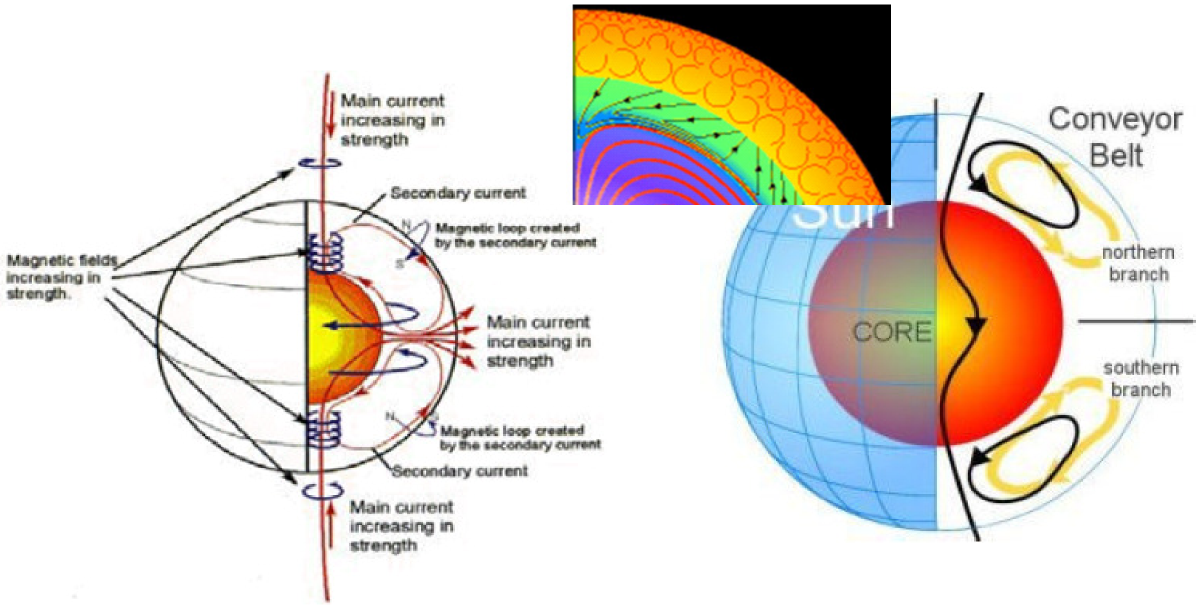
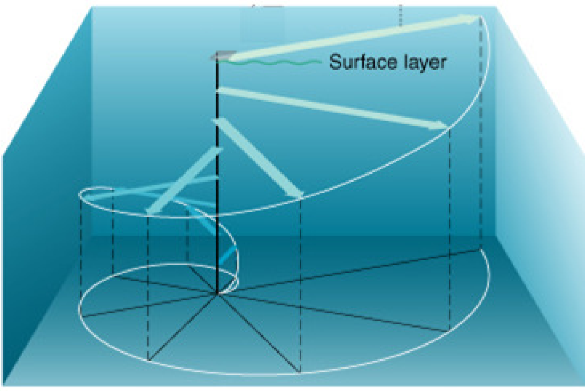


Abbildung 73: Nach den Vorstellungen und Beobachtungen der NASA wird im Conveyor Belt das Plasma an der oberen Konvektionszone zu den Polen transportiert. Die Plasmaflüsse bestehen aus einem nördlichen und einem südlichen Teil. An den Polen sinkt Plasma in die Tiefe und wird zum Äquator transportiert. Entgegen der vereinfachten Darstellung der NASA (Hathaway) handelt es sich nicht um ein zusammenhängendes Gebilde, sondern es besteht wegen der unterschiedlichen Temperaturen und damit unterschiedlichen Dichte in der 200.000 km-starken Konvektionszone aus mehreren Schichten (kleine Abbildung). Links ist der Magnetfeldfluss und dessen Verstärkung an den Polen, durch sinkendes Plasma dargestellt.

Laut NASA benötigt das Plasma im Convoyer Belt für einen Umlauf ca. 40 Jahre. Wegen der größeren Dichte und dem geringeren Radius sind die Radialbeschleunigungen an der unteren Konvektionszone, also an der Unterseite des Conveyor Belt geringer als in den oberen Zonen, so dass im Plasma unterschiedliche Driftströmungen entstehen, an deren Grenzschichten turbulente Reibung auftritt.

Nach der Potentialtheorie von Gauß kann ein flüssiges Medium nur dann eine Gleichgewichtsfigur (beschreibt in der Astronomie einen flüssigen, stabilen Aufbau von Sternen, bei denen die inneren Grenzflächen, die jeweiligen Niveauflächen und die Oberfläche im Gleichgewicht aller Kräfte sind) ausbilden, wenn alle seine Niveauflächen jeweils die gleiche Dichte aufweisen. Eine Störung dieses Gleichgewichts, z.B. durch die Temperatur, Gravitation oder Magnetfelddichte hat seitliche oder vertikale Plasmabewegungen zur Folge, weil Plasmateilchen verschiedener Dichte nicht nebeneinander bleiben können. Dies bewirkt eine Korkenzieherströmung, ähnlich wie in einer Ekman-Spirale und dadurch, eine Auftriebskomponente im Plasma. Das schnellere Plasma in den höheren Schichten zieht das darunter liegende, langsamere Plasma durch Reibung mit. Im Gegensatz zur Ekman-Spirale treibt nicht der Wind die Korkenzieherströmung (dort ist es das Meerwasser), sondern auf der Sonne, die zur Oberfläche zunehmenden Plasmageschwindigkeiten.



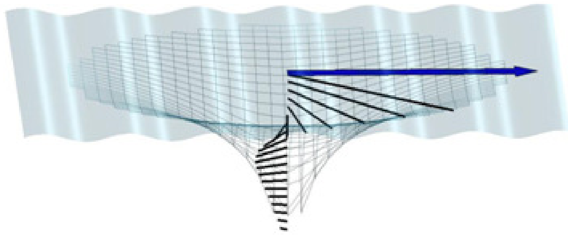


Abbildung 74: Ähnlich einer Ekman-Spirale kommt es im Sonnenplasma auf Grund der höheren Oberflächenströmung zu einer Korkenzieherströmung, die eine aufwärts gerichtete Komponente aufweist. Während auf dem Meer der Wind das Wasser durch Reibung hinter sich herzieht (was sich in den jeweiligen Grenzschichten im Wasser fort setzt), zieht die oberste (schnellere) Plasmaschicht die unteren durch Reibung hinter sich her. Die Corioliskraft lenkt das Plasma auf der Nordhalbkugel nach rechts und auf der Südhalbkugel nach links ab, wodurch die in der vorherigen Abbildung gezeigten unterschiedlichen Fließrichtungen des nördlichen- und südlichen Convoyer-Belt entstehen. Aufgrund der Corioliskraft dreht dabei die Richtung des Geschwindigkeitsvektors immer mehr nach rechts (nördliche Halbkugel).

An den Grenzschichten der “Korkenzieherströmung“ kommt es durch die Bewegungen im elektrisch leitfähigen Plasma zu örtlich stark ausgebildeten Magnetfeldern, die die Keime für Sonnenflecken sind. Da nördliches und südliches Convoyor-Belt über die Corioliskraft miteinander gekoppelt sind, kommt es zu der paarweise Ausbildung von Sonnenflecken mit einmal südlicher und einmal nördlicher Polarität. Je stärker die Korkenzieherströmung (mitziehen) ist, desto stärker die magnetische Aktivität und damit die Ausbildung von Sonnenflecken.

Da nach Dr. Landscheidt die Planeten und die Änderung des solaren Baryzentrums den Aktivitätszyklus der Sonne (mit) triggern, wäre dies eine Erklärung, warum es bei bestimmten Planetenkonstellationen zu solaren Aktivitätszyklen kommt. Durch den Antrieb der äußeren Plasmaschichten durch die Planeten kommt es zu einer Verstärkung der solaren Strömung, vorzugsweise in den oberen Sonnenschichten, was wiederum eine Verstärkung der Driftströmungen, damit der turbulenten Reibung und letztendlich der Korkenzieherströmung bewirkt und damit zu verstärkten Sonnenflecken führt.

Wegen der Viskosität sind in zähen Flüssigkeiten (tiefere Sonnenschichten) die Plasmateilchen stärker aneinander gebunden und damit unbeweglicher. Die innere Reibung ist dort stärker. Daher sollten Sonnenflecken vorzugsweise in den oberen Schichten der Sonne entstehen, weil hier die Plasmateilchen beweglicher und daher die Induktionsvorgänge größer sind.

Sollten die Angaben der NASA hinsichtlich der Umlaufzeit von ca. 40 Jahren zutreffen, käme es in der halben Zeit, also ca. alle 20 Jahre zu einem Richtungswechsel der Flussgeschwindigkeit, was nichts anderes darstellt als eine Polumkehr des Magnetfeldes. Die Polumkehr steht für den Hale-Zyklus der Sonne, dessen Länge beträgt im Mittel 22 Jahre, was mit den Beobachtungen der NASA am Convoyer-Belt im Einklang steht.

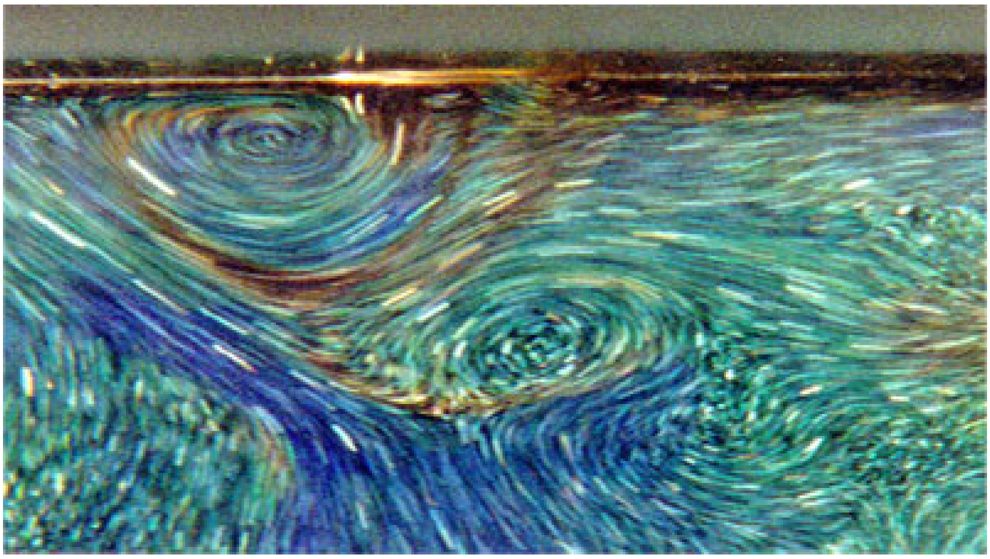


Abbildung 75: (Y. B. Du and P. Tong, J. Fluid Mech., 2000) zeigt Turbulenzen in konvektiven Strömungen, wie sie auch auf der Sonne durch aufsteigendes heißes Material entstehen (in der Abbildung sind wärmere Bereich grün/blau codiert). Zu diesen konvektiven Turbulenzen kommen auf der Sonne die Turbulenzen*) aufgrund der unterschiedlichen Umlaufgeschwindigkeiten im Plasma.

*) Zur mathematischen Beschreibung der Strömung in Fluiden dient die Eulersche Bewegungsgleichung, die Kontinuitätsgleichung und die Navier-Stokes-Gleichung für die Berücksichtigung der Reibung.

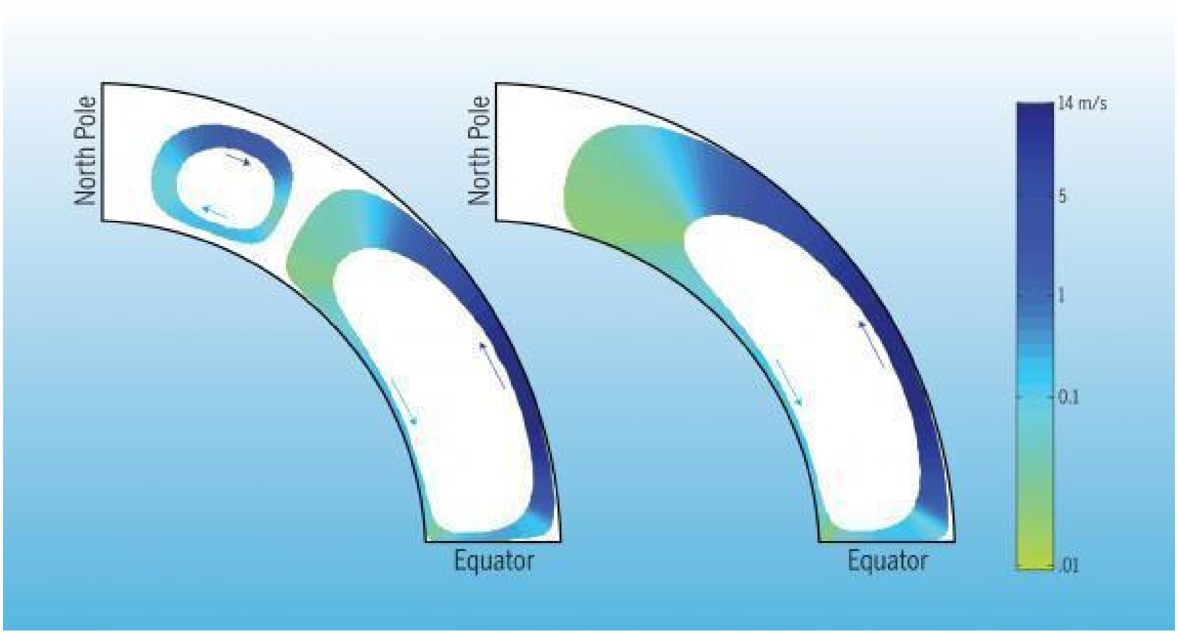


Abbildung 76, Quelle: UCAR, “Extended solar minimum linked to changes in Sun’s conveyor belt”, Mausumi Dikpati et al. vom 12.08.2010 (http://www2.ucar.edu/news/2354/extended-solar-minimum-linked-changes-sun-s-conveyor-belt) zeigt rechts die analysierte Fließrichtung, Fließgeschwindigkeit und Ausdehnung der Plasmaflüsse (Hauptrichtung) im Convoyer-Belt während dem 23. Sonnenzyklus. Dazu links zum Vergleich, die Plasmaflüsse während eines (vergleichsweise) kurzen solaren Zyklus. Da der Rücktransport des Plasma im 23. Zyklus länger war (rechts), ist davon auszugehen, dass der Hinflus auch länger ist, weil die Teilbereiche in der Konvektionszone noch miteinander verbunden sind, so dass der 24. Zyklus (jetzt längerer Weg für Hinflus zum Pol) lang und aktivitätsschwach ausfällt. Erst wenn sich die Teilbereiche wieder trennen, erhöht sich die magnetische solare Aktivität, d.h. es gibt dann immer zwei sehr schwache Zyklen. Dies würde z.B. die zwei schwachen Zyklen im Dalton-Minimum erklären. Bleiben hingegen die Bereiche länger miteinander verbunden, fallen die weiteren Sonnenzyklen aus, wie zuletzt im Maunder-Minimum.

Anhand dieser Theorie hat das Convoyer-Belt in einem langen Sonnenzyklus eine ausgedehntere Form, als in einem kurzen Sonnenzyklus und braucht dadurch länger für einen Umlauf und die Polumkehr, die einen neuen Sonnenzyklus einläutet, findet später statt. Da sich dadurch auch die innere Reibung erhöht, weil die Massen deutlich größer sind, wird der nächste Sonnenzyklus entsprechend der niederen Umlaufgeschwindigkeit des Plasmas schwächer ausfallen.

Insbesondere die Aufteilung des Convoyer-Belt in zwei Haupteinheiten während eines kurzen Sonnenzyklus erklärt auch, warum kurze Sonnenzyklen stärker als lange Zyklen sind. Die Umlaufgeschwindigkeit ist wegen der geringeren Masse größer und der Drehimpuls ist größer, ähnlich einem Eiskunstläufer, der seine Geschwindigkeit dadurch erhöht, indem er seine Arme an den Körper heranzieht. Hier sind die „Arme“, die Weite des Convoyer-Belts.

Die Aufteilung des Convoyer-Belts in 2 (in Abbildung 76 links sind zwei dargestellt) oder gar mehr Einheiten bestimmt die Stärke und Dauer des Sonnenzyklus, wobei die magnetische Aktivität zu beiden Seiten des Sonnenäquators umso stärker ist, je schneller die Plasmafließgeschwindigkeit ist. Sie steuert die Induktionsvorgänge im elektrisch leitfähigen Plasma, sowie den Magnetfluss. Über die Corioliskraft sind beide Felder (nördliche und südliche Sonnenflecken) direkt miteinander gekoppelt.

Die folgende Abbildung zeigt, wie die Aktivität der Mikroflares (Anzahl), die durch Umwandlung von Bewegungsenergie in magnetische Energie und anschließender Rekonnektion der Magnetfelder ausgelöst werden, synchron zum Sonnenzyklus verläuft.

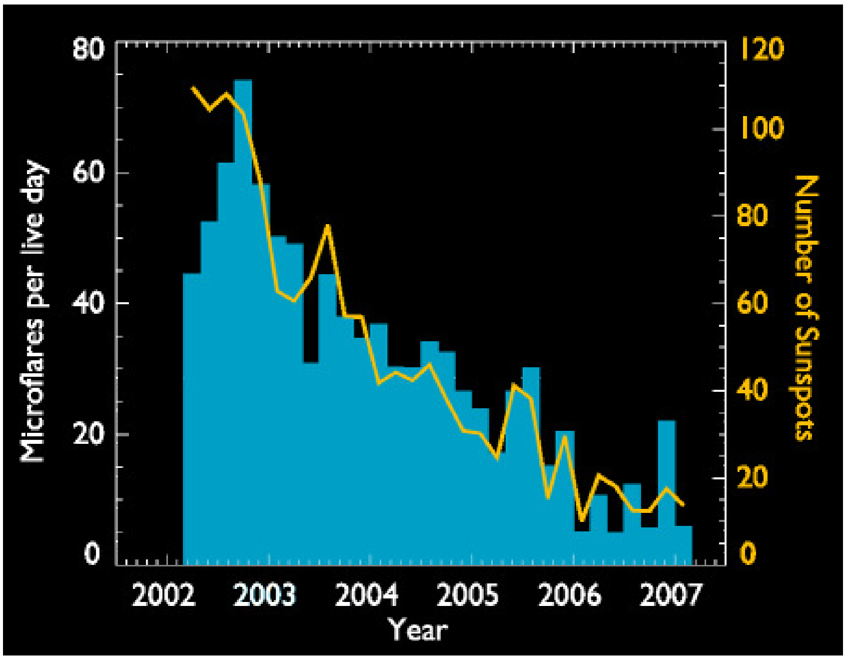


Abbildung 77 zeigt die Anzahl der Mikroflares von 2002 - 2007, Quelle: ”X-ray Imaging & Spectral Statistics of Small Solar Flares Observed with RHESSI”, Iain G. Hannah et al. Space Sciences Laboratory, University of California, Berkeley. Das Maximum lag zum Jahreswechsel 2002/2003 und fällt mit der magnetischen Aktivität der Sonne zusammen und läuft der Sonnenfleckenaktivität ca. 2 Jahre nach. Deutlich ist zu sehen, dass mit abnehmender solarer Aktivität auch die Mikroflares abnehmen. Allerdings ist die Koronatemperatur Schwellwert-gesteuert. Was ist der Schalter für dieses Verhalten?

Zur Beantwortung der Frage muss zuerst geklärt werden, inwieweit der maßgebliche Heizmechanismus, die Nanoflares ebenfalls von der solaren Aktivität abhängen und, inwieweit, entgegen gesetzt zu den Mikroflares, diese über die gesamte Sonnenoberfläche auftreten.

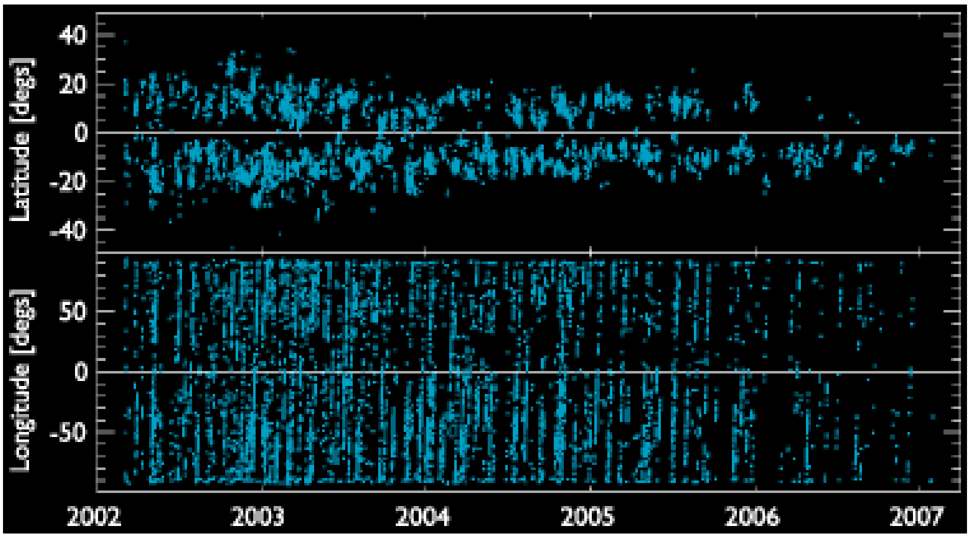


Abbildung 78 (Quelle, siehe oben) zeigt die Verteilung der beobachteten Mikroflare über die Breiten- und Längengeraden. Während diese über die Längengeraden gleichmäßig verteilt sind, sind sie, wie die Sonnenflecken, vorzugsweise auf beiden Seiten des Äquators anzutreffen. Die Temperatur der Mikroflares lag dabei zwischen 10 und 16 Millionen Kelvin.

Zur Beantwortung wird ein Sonnenphänomen herangezogen, welches auf den vorherigen Seiten schon oft zu sehen war, aber noch nicht explizit angesprochen wurde. Es sind die Protuberanzen der Sonne. Dabei handelt es sich um kühle Materiewolken in der Sonnenatmosphäre, die Magnetfeldlinien folgen und oft eine bogenförmige Form ausweisen.

Sie sich vor der Sonnenoberfläche als mattes Gebilde ab, welches Filament genannt wird. Protuberanzen sind die größten Gebilde auf der Sonne. Die meisten sind jedoch klein.

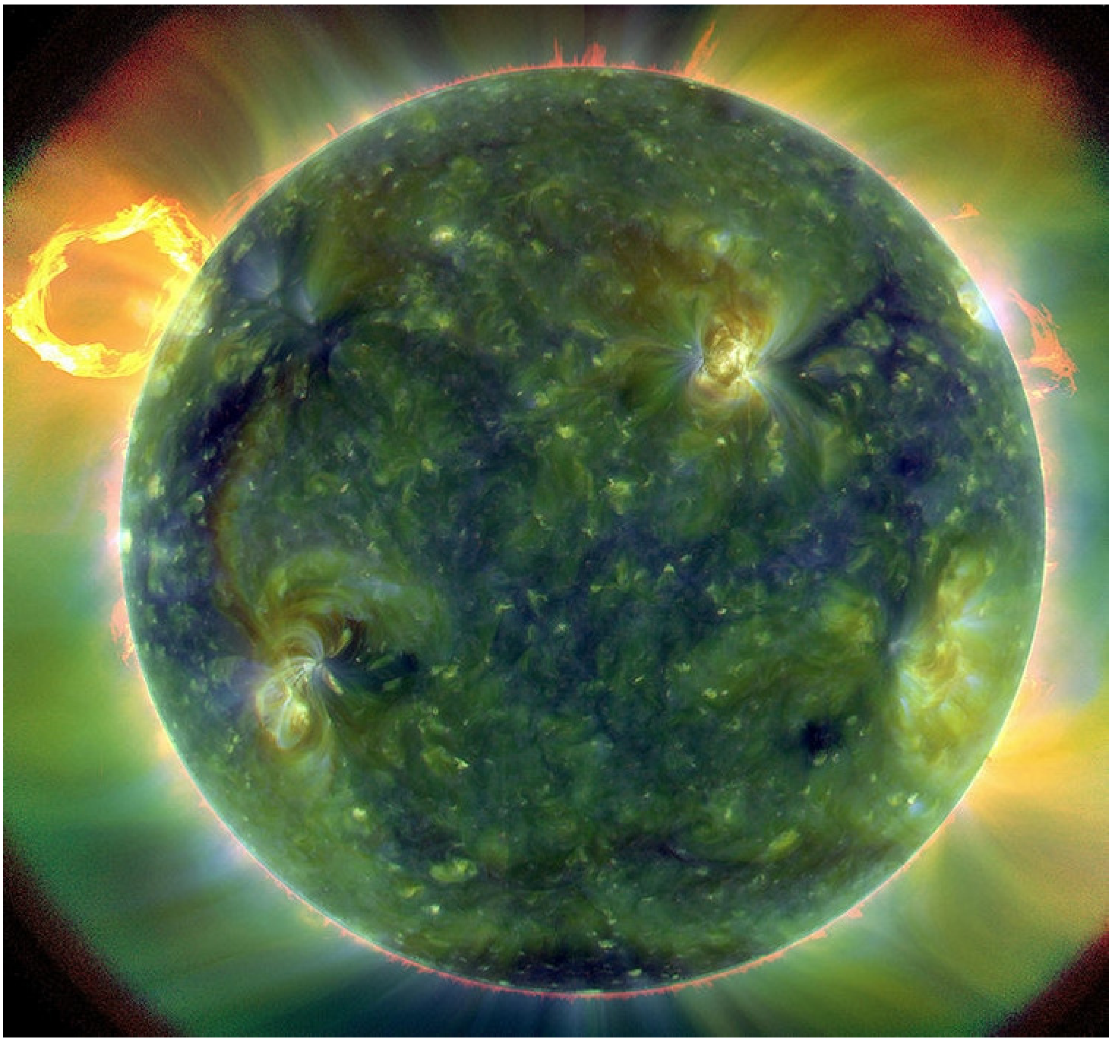


Abbildung 79 zeigt die Sonne im ultravioletten Bereich am 30. März 2010. Links oben ist eine große, bogenförmige Protuberanz zu sehen. Über den ganzen Sonnenball sind kleine Protuberanzen verteilt, die wie zerzauste Watte in die Korona reichen. Die roten Bereiche sind mit bis zu 60.000 Kelvin vergleichsweise kühl, wogegen die grünen und blauen Bereiche Temperaturen größer 1 Million Kelvin aufweisen, Quelle: SDO/AIA. SDO (Solar Dynamics Observatory) ist die im Februar 2010 gestartete NASA-Sonnensonde und AIA (Atmospheric Imaging Assembly) ist das Messinstrument, welches die Vorgänge in der Sonnenatmosphäre aufzeichnet. Darüber hinaus trägt die Sonde das Messsystem HMI (Helioseismic and Magnetic Imager), mit dem Vorgänge im Sonneninnern aufgezeichnet werden und das Messsystem EVE (Extreme Ultraviolet Variability Instrument) zur Beobachtung der sehr kurzwelligen (<150 nm) UV-Strahlung.

Was haben nun kühle Protuberanzen, mit heißen Nanoflares zu tun, die als Koronaheizung gelten? Beide folgen Magnetfeldlinien der Sonne und in beiden wird Materie entlang der Magnetfeldlinien durch ein magnetisches Feld beschleunigt. Bei Nanoflares muss es darüber hinaus zu einer magnetischen Rekonnektion, mit explosionsartig freigesetzter Energie kommen. Eine Rekonnektion kann grundsätzlich überall dort auftreten, wo die magnetischen Feldlinien konzentriert werden und nicht unmittelbar ins Weltall entweichen. Also alle Stellen auf der Sonne, mit Ausnahme von solaren Löchern, da dort die Feldlinien ungehindert ins Weltall entweichen.

Wie das MPS ermittelte, sind die Ausgangszellen für Nanoflares die Bright Points auf der Sonne, die überall dort entstehen, wo die Sonnenoberfläche eine netzartige Struktur aufweist. Dies ist die gesamte Sonnenoberfläche. In ihr kommt es durch Konvektion und der größeren Umlaufgeschwindigkeit der oberen Konvektionszone zu einem ständigen Auftrieb von Plasma, welches bei Abkühlung an der Oberfläche, wieder absinkt.

Sollen Nanoflares die Hauptursache der Koronaheizung sein, müssen Bright Points mit der solaren Aktivität variieren, d.h. bei aktiver Sonne muss die Anzahl von Bright Points auf der Sonnenoberfläche stark zunehmen und zwar, setzt die Koronaturboheizung ein, sprunghaft zunehmen. Die folgende Abbildung zeigt die Anzahl von Bright Points bei ruhiger Sonne.

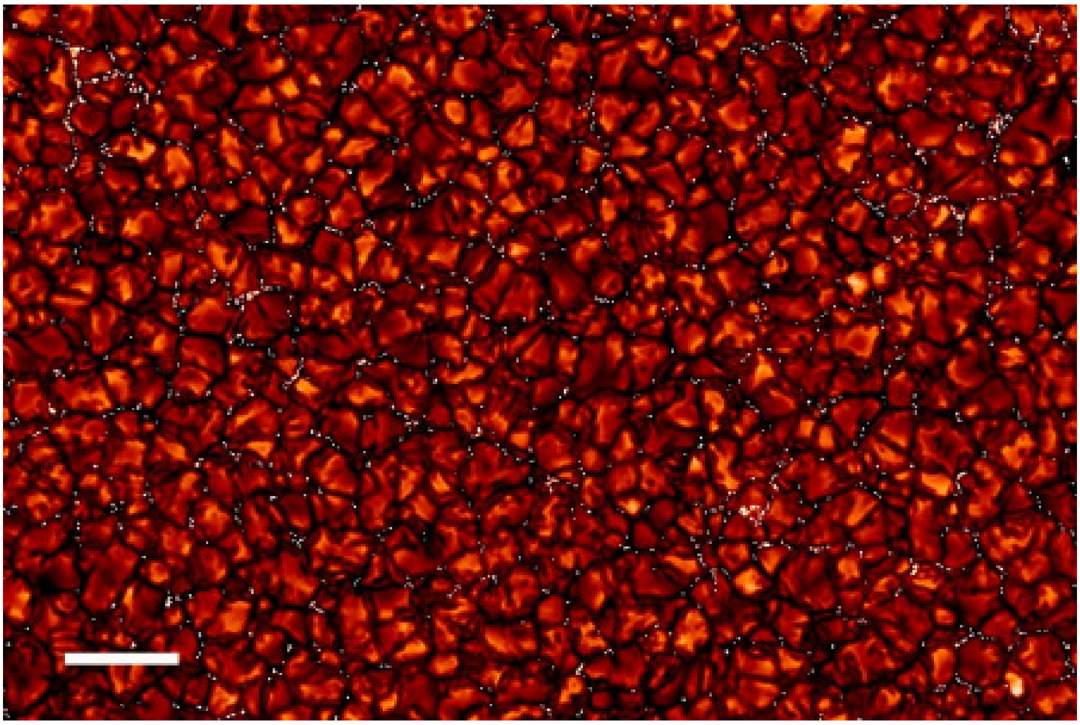


Abbildung 80 zeigt magnetische Bright Points auf der ruhigen Sonne vom September 2007, Quelle: (http://apod.nasa.gov/apod/ap100416.html). Der weiße Balken kennzeichnet eine Länge von 5.000 km.

Da MBPs erst 1999 entdeckt wurden, gibt es derzeit noch keine Zeitreihe über ihr Auftreten im Schwabe-Zyklus (dem Autor sind keine bekannt), so dass sich anhand von Einzelaufnahmen, an die Antwort, inwieweit sie direkt proportional zur solaren Aktivität auftreten, herangetastet wird. Hier wird die Arbeit von **R. Ishikawa et al.**, 2007 "Relationship between magnetic foot points and G-band bright structures" herangezogen. Aus der Arbeit stammen die folgenden Abbildungen.

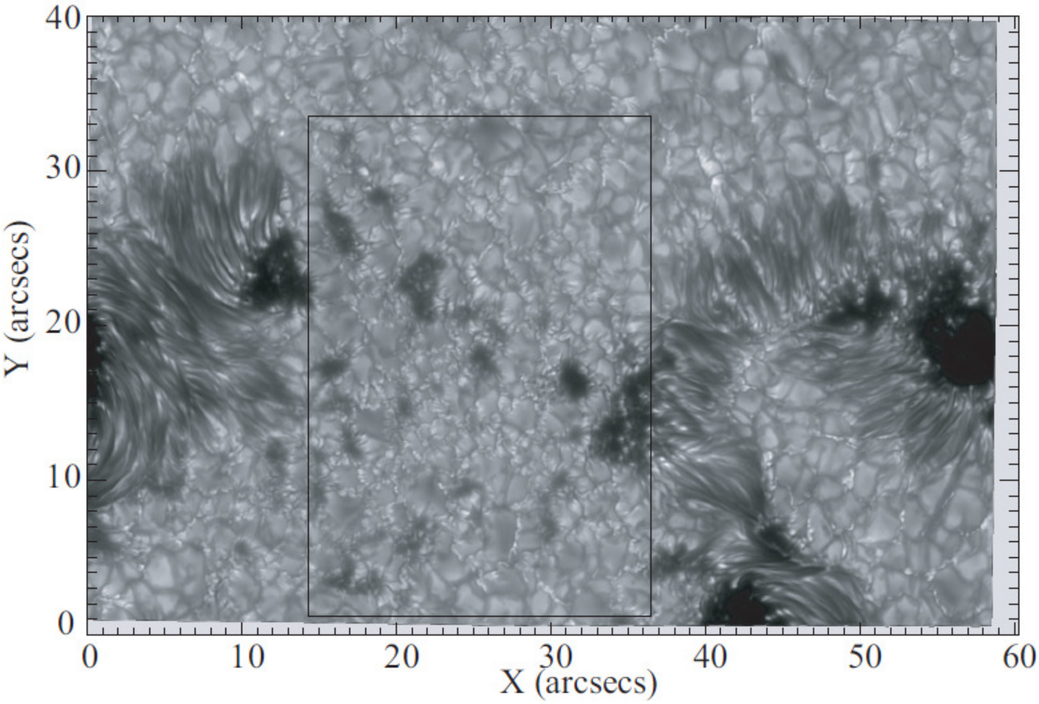


Abbildung 81 zeigt den Bereich zwischen zwei Sonnenflecken am 09. Juli 2005 bei aktiver Sonne. Der Rechteckbereich wird in der Arbeit auf MBPs untersucht.

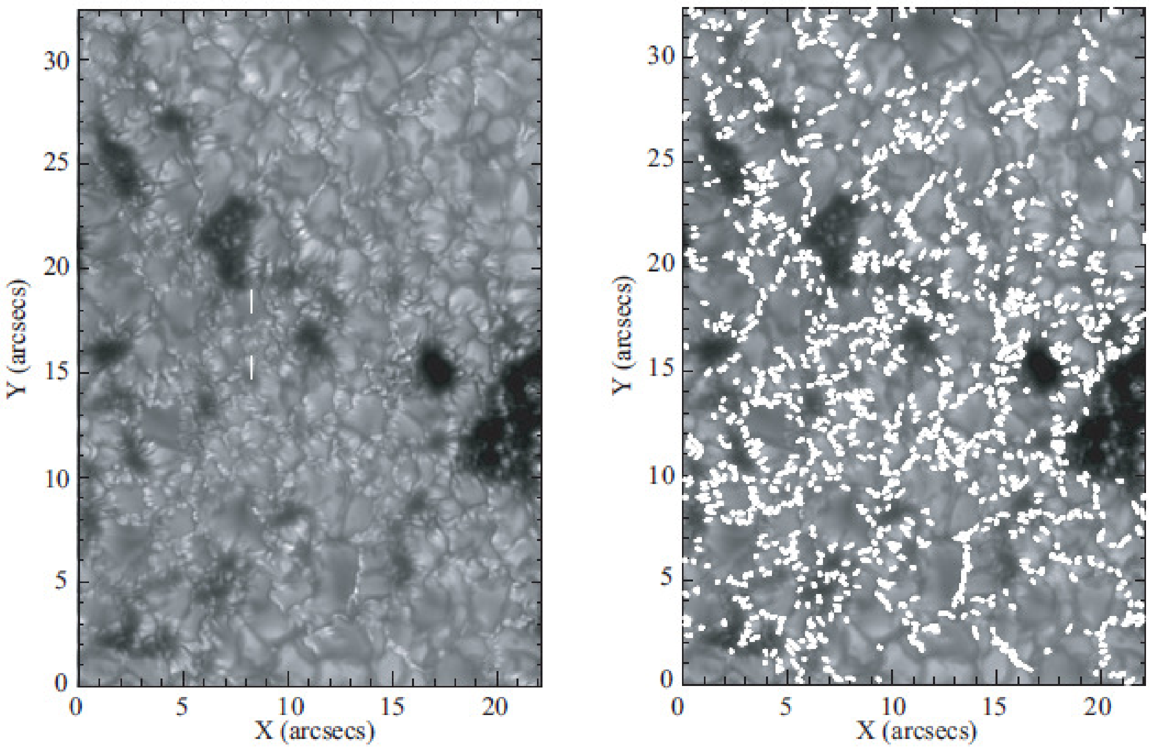


Abbildung 82 links zeigt den markierten Ausschnitt aus der vorherigen Abbildung zwischen zwei Sonnenflecken, also einer aktiven Region. In der Abbildung rechts wurden die MBPs eingetragen. Es zeigt sich, dass deren Anzahl gegenüber der Abbildung auf der vorherigen Seite (ruhige Sonne) stark erhöht ist. Nach vorsichtiger Schätzung um den Faktor 2. Arcsec ist die Winkeleinheit (1/3600°) des beobachteten Radius der Sonnenoberfläche. Bei einem Sonnendurchmesser von 1.391.400 km sind 1 arcsec ≈ 1.200 km.

Die Datenvergleiche deuten darauf hin, dass in aktiven Regionen der Sonne und dann auch allgemein bei aktiver Sonne, die Anzahl der MBPs deutlich ansteigt. Der Autor geht davon aus, dass mit Beginn eines solaren Zyklus, wenn die Koronaturboheizung sozusagen einschaltet und die Koronatemperatur nahezu verdoppelt wird, MBPs und damit Nanoflares sprunghaft ansteigen.

Wissenschaftler der Universität Göttingen um **Prof. Eberhard Wiehr** und **Prof. Burkart Bovelet** ist es gelungen, die Anzahl der kleinräumigen magnetischen Gebilde auf der gesamten Sonnenoberfläche zu bestimmen, “The quiet Sun's magnetic flux estimated from Ca II H bright inter-granular G-band structures“, Astronomy & Astrophysics, DOI: 10.1051/0004-6361:200809717. Die Forscher nutzten für ihre Untersuchungen das blaue Licht des Kohlenwasserstoff-Moleküls (CH) und das violette Licht des einfach ionisierten Kalziums (Ca+). In deren Spektralbereichen leuchten die kleinen Magnetfeldgebiete heller als ihre Umgebung.

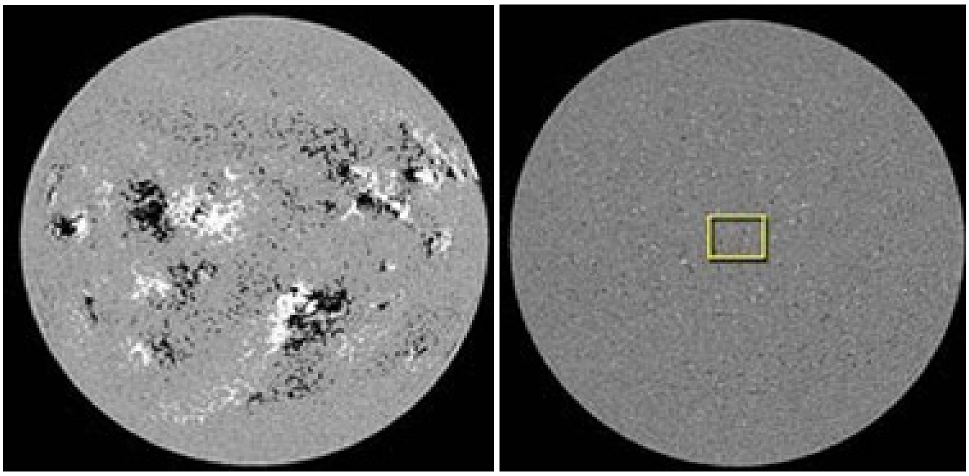


Abbildung 83 links zeigt das Magnetogramm der Sonne während dem Aktivitätsmaximum im 23. Zyklus und daneben während dem Minimum im November 2007. Die magnetische Aktivität ist als hell (Nordpol)/dunkel (Südpol)-Schema abgebildet. Während dem Minimum zeigt sich eine feinkörnige Struktur. Das Rechteck zeigt das Beobachtungsgebiet, Quelle: scinexx vom 05.09.2008.

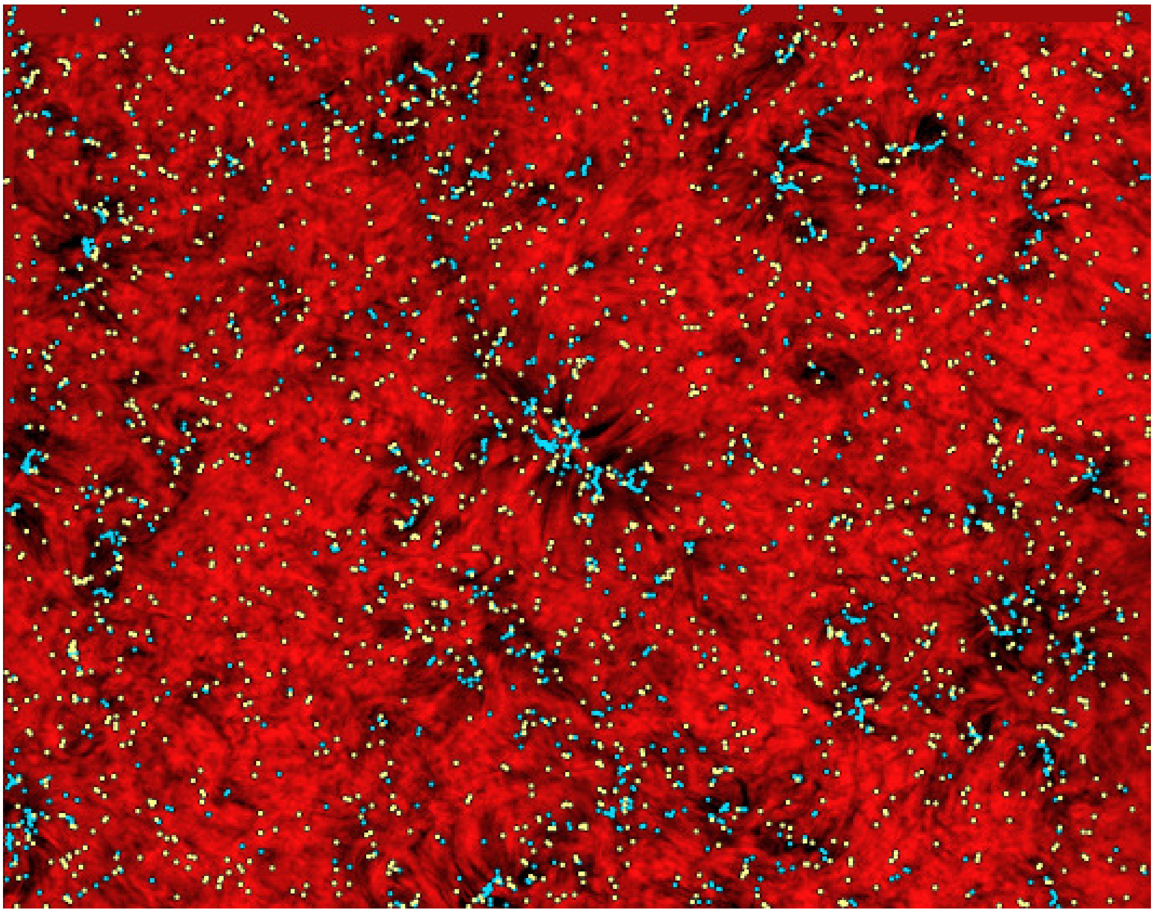


Abbildung 84 stammt von der frei zugänglichen Homepage von Prof. Wiehr und wurde während des Sonnenminimums in 2007 aufgenommen, Text: *“Der 108000 km mal 85000 km grosser Ausschnitt der Sonnenscheibenmitte im im Lichte der H-alpha Linie; mit den rund 3000 identifizierten kleinräumigen Magnetgebieten, die im G-band hellen ('bright points') sind blau, die schwachleuchtenden, bisher kaum zu identifizierenden gelb markiert. Die blauen finden sich an den Fusspunkten der dunklen H-alpha-Fibrillen, die die Netzwerkraumränder markieren, die gelben auch im Inter-Netzwerk.“*

Die Forscher kommen anhand der Hochrechnung des beobachteten Gebiets auf die gesamte Sonnenoberfläche auf mindestens 660.000 magnetische Objekte im solaren Minimum, wobei die Anzahl deutlich höher sein kann. Liegen Regionen unterschiedlicher magnetischer Polarität sehr nahe beieinander, so löschen sie sich gegenseitig aus, bzw. liegen unter der Nachweisgrenze des MDI-Messsystem (Michelson Doppler Imager).

Noch nicht beantwortet ist die Frage, warum bei einem Wechsel des polaren Feldes, zum einen, der neue Sonnenzyklus beginnt, die Koronaturboheizung eingeschaltet wird und zum anderen, das Maximum im solaren Zyklus erreicht ist und dann die Sonnenaktivität zurückgeht?

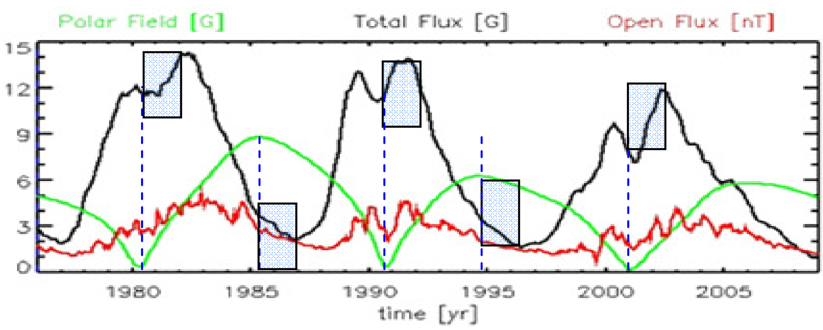


Abbildung 85 zeigt das Polarfeld (grün) und den Total Flux (schwarz) der Sonne von 1976 - 2009, Quelle: MPG. An den blau gestrichelten Linien dreht jeweils das Polarfeld. Dazu hat der Autor die Zeitabstände markiert, nach denen der solare Zyklus dreht. Wie zu sehen, dreht der solare Zyklus jeweils nach exakten Zeiten und zwar nach ca. 1 ½ Jahr. Dreht beispielsweise

das Polarfeld in Max, so beginnt im Betrachtungszeitraum immer nach 1 ½ Jahren der neue Sonnenzyklus. Wechselt dagegen das Polarfeld im Minimum, so erreicht der solaren Zyklus jeweils nach ca. 1 ½ Jahren sein Maximum und beginnt dann zu fallen.

Inwieweit hat das Polarfeld Einfluss auf die Koronaturboheizung und damit letztendlich auf die solare Aktivität schlecht hin? Ist sie auch zeitgesteuert, wie beim Total Flux des Schwabe-Zyklus? Aus rein theoretischen Gründen sollte sie, da die Koronaheizung von den kleinsten magnetischen Einheiten, den MBPs und Nanoflares abhängt, nicht zeitgesteuert, sondern, über die Fließgeschwindigkeit im Plasma, schwellengesteuert sein. Diese theoretische Betrachtung soll anhand der obigen Abbildung des Polarfeldes überprüft werden.

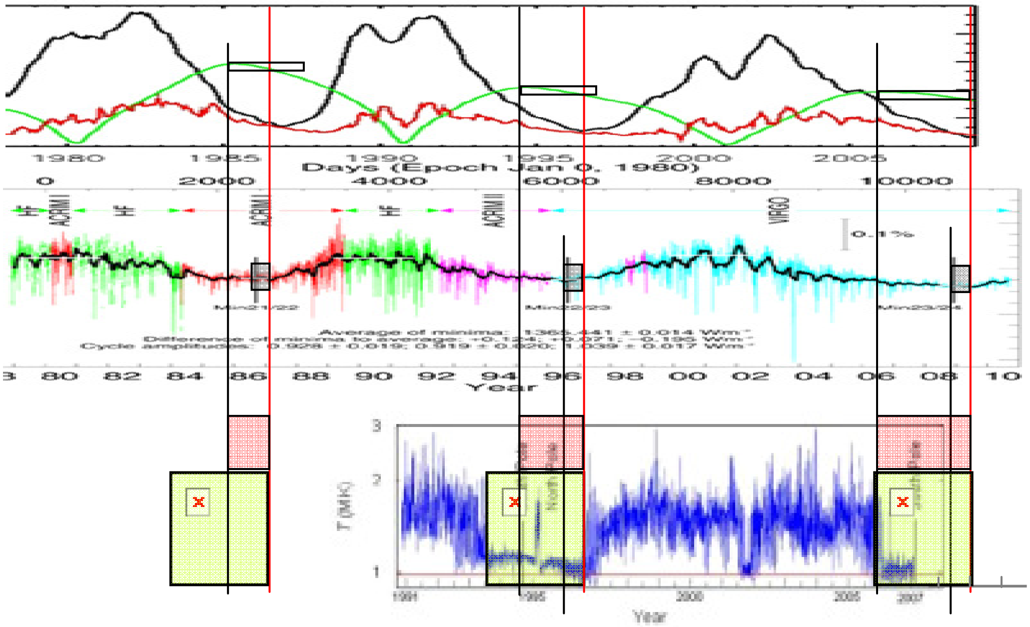


Abbildung 86 oben, Polarfeld nach MPG. Mitte, der TSI nach PMOD mit den Trennlinien zwischen den Zyklen und darunter die Koronatemperatur. Da diese Zeitreihe erst 1991 beginnt, wurde sie über den Zeitraum rekonstruiert, wobei die Zeitblöcke (grüne Rechtecke) in denen die Koronaturboheizung auf low ist, gleich gehalten wurden. Die roten Linien geben den Zeitpunkt an, an denen jeweils die Koronaturboheizung einschaltet. Die schwarzen Linien den Zeitpunkt, an denen das Polarfeld im Maximum dreht.

Aus Abbildung 86 wird ersichtlich, dass es keinen zeitlichen Zusammenhang (rote Rechtecke) zwischen Polarfeld (überschreiten Maximum) und dem einschalten der Koronaturboheizung gibt. Die Zeitspanne variiert im Betrachtungszeitraum zwischen 1 ¼ und 3 Jahren. Wird dagegen der Schwellwert betrachtet, wann die Datenreihe des Polarfeldes jeweils die rote Linie, die für den Zeitpunkt des Einschaltens der Koronaturboheizung steht, schneidet, so ist festzustellen, dass jeweils nach demselben Hub (Höhe – weiße, schmale Rechtecke) die Koronaturboheizung einschaltet. Wie sind diese Erkenntnisse in die Vorgänge in der Konvektionszone einzuordnen?

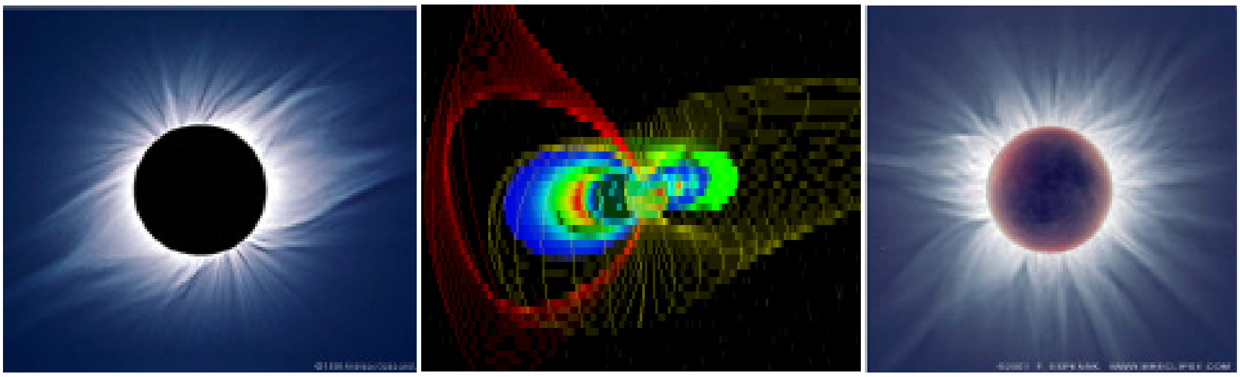
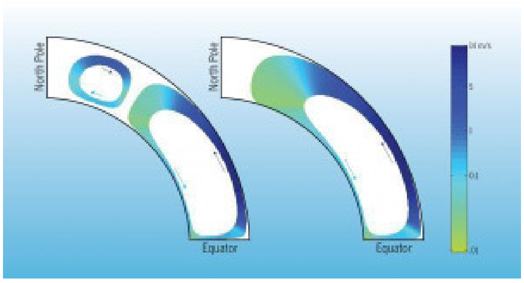


Abbildung 87 links zeigt die Sonne im solaren Minimum und gut sichtbar, das magnetische Dipolfeld und Polarfeld der Sonne. Abbildung Mitte zeigt Stärke (farbcodiert) des Toroidalfeldes und Feldlinienverlauf des Polarfelds der Sonne (Quelle: “Understanding the Space Environment with GOES-R Solar and Space Environment Data”, **Hill**/**Singer** et al.) und rechts ist das solare Magnetfeld im Sonnenmaximum zu sehen und wie dort das Polarfeld verschwunden ist, was mit der Datenreihe des Polarfeldes von der MPG übereinstimmt.

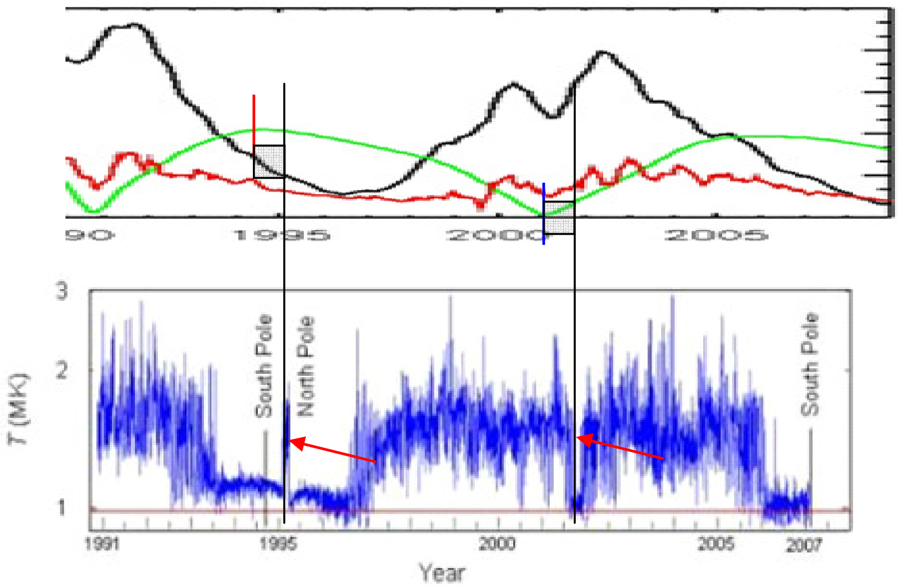
Die Abbildungen auf der vorherigen Seite zeigen deutlich, dass das Polarfeld sozusagen der Schalter ist, mit der die solaren Aktivität im Schwabe-Zyklus ein- bzw. ausgeschaltet wird, sowie die Koronaturboheizung ein- und ausgeschaltet wird. Aus was besteht dieser Schalter? Hierzu ist es notwendig, nochmals die Abbildung 76 zu betrachten.



Ist das Polarfeld im Maximum (ruhige Sonne), so ist die Dynamik im Conoyer-Belt (Konvektionszone), die für die variable magnetische Sonnenaktivität verantwortlich ist, am geringsten, so dass sich das Dipolfeld und Polarfeld der Sonne entfalten kann, da es nur wenig aus der magnetischen Aktivität des Toroidalfeldes überlagert ist. Beginnen sich die Plasmamassen im Convoyer-Belt zu beschleunigen, nimmt das Toroidalfeld der Sonne wieder zu, was zur Schwächung des Polarfeldes führt. Durch die Bewegung elektrisch leitfähiger Massen, werden Ströme induziert, die in der Sonne bis zu 1.000 Milliarden Ampere betragen.

Diese Ströme tragen große Magnetfelder mit sich, wobei die Stromstärke direkt proportional zur Geschwindigkeit ist. Ab einem bestimmten Bewegungswert kommt es zu einem Lawineneffekt – die Ströme lösen schlagartig magnetische Induktionsvorgänge aus, die dazu führen, dass der im Convoyer-Belt gespeicherte Magnetfluss über die MBPs aus der Sonnenoberfläche austritt. Da die MBPs die Regionen sind, in denen durch Relativbewegungen zwischen den Granulen, der magnetische Fluss erhöht und der magnetische Widerstand bereits reduziert ist, tritt an diesen Stelle das Magnetfeld aus, wodurch sich schlagartig die MBPs und damit die Aktivität der Nanoflares erhöht und die Korona ihre Temperatur verdoppelt. Die magnetische Energie kann nicht weiter im Plasma der Konvektionszone gespeichert werden und sucht sich den Weg über den geringsten magnetischen Widerstand an die Oberfläche.

Bei den in der Zeitreihe der Koronatemperatur zu sehenden gegenläufigen Spitzen könnte es sich um Mitzieheffekte in der unteren Zone des Convoyer-Belts handeln (folgende Abbildung).



In der Abbildung 88 der Koronatemperaturdatenreihe sind die beiden entgegen gesetzten Phasen mit einem Pfeil gekennzeichnet. Hier verhält sich die Koronatemperatur genau entgegen gesetzt zu ihrem Zyklus. Dies ist jeweils nach Max und Min (rote und blaue Linie) im Polarfeld und zwar in exakten Zeitabständen dazu. Da die beiden darauf folgenden Zeitabschnitte exakt identisch sind (graue Rechtecke) geht der Autor davon aus, dass es sich dabei um Mitzieh- und Bremseffekte der oberen und unteren Konvektionszone handelt.

Wie bereits behandelt, haben obere und untere Zone im Convoyer-Belt unterschiedliche Geschwindigkeiten, wobei die untere Schicht langsamer ist, wodurch die obere, der unteren vorauseilt. Dadurch entstehen Turbolenzen und ein uneinheitliches Fließbild im Plasma, ähnlich der folgenden Abbildung.



Abbildung 89 zeigt eine Kármán-Wirbelstraße. An einem Hindernis (links) wird die laminare Strömung gebrochen, dadurch kommt es zu links und rechtsdrehenden Wirbeln, die immer mehr Turbolenzen nach sich ziehen (S.d.W. 04/09, S. 79). In der Konvektionszone handelt es sich nicht um feste Hindernisse, sondern um Plasmamassen unterschiedlicher Geschwindigkeit, ähnlich wie auf dem Gasplaneten Jupiter.

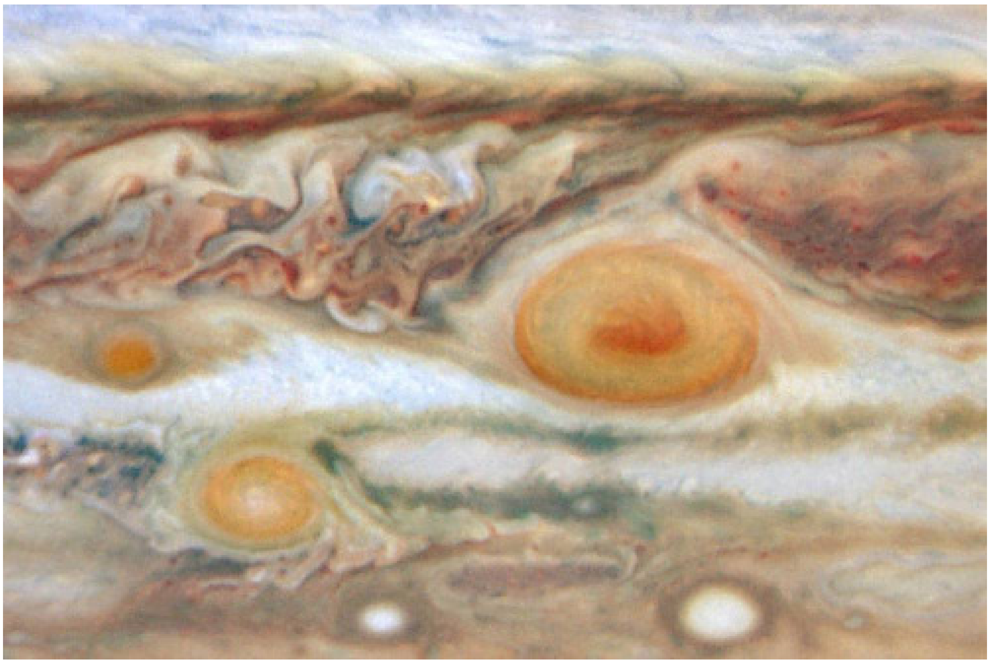


Abbildung 90: Der große rote Fleck des Jupiters, bei dem es sich um einen gewaltigen atmosphärischen Wirbelsturm handelt, wirkt auf die umfließenden Luftmassen wie ein Hindernis, an dem sich eine Kármán-Wirbelstraße ausbildet. Zu diesen in der Fließmasse befindlichen Turbolenzen, mit ihren unterschiedlichen Richtungsvektoren, kommt es an den Umkehrpunkten der Hauptfließrichtungen (Polen) unweigerlich dazu, dass die Bewegungsvektoren der beiden Schichten entgegen stehen. Dies ist immer kurz nach einem Wechsel im polaren Feld der Fall. Als Folge kommt es zu einem „Kurzschluss" in den Induktionsvorgängen (schlagartige Änderung der Stromrichtung). Eine schlagartige Flussänderung, die dies als Folge hat, führt immer zu einem Induktionsvorgang in entgegen gesetzter Richtung (Lenz´sche Regel), was die Ausschläge kennzeichnen. Sind danach die elektrischen Hauptstromflüsse wieder gleich, wird der vorherige Zustand wieder eingenommen.

Ein wesentlicher Faktor zum Verstehen der solaren Aktivität und damit dem Erdklima spielt sich also in der Korona, der äußeren Sonnenatmosphäre statt. Das Verständnis der Sonne ist somit die Voraussetzung zum Verständnis des irdischen Klimas, wie noch gezeigt werden wird. Der Einblick in die Grundlagen dient dazu, die Aktivitätsschwankungen der Sonne verstehen zu können und damit der alleinige Einfluss der Sonne auf unser Klima.

Die Sonne ist ein komplexes, hoch dynamisches Gebilde, so dass die im Vorwort erwähnte IPCC-Einstufung, ihre Aktivität wäre in den letzten Jahrzehnten, gar den letzten beiden Jahrhunderten (fast) statisch, absurd ist. Zu der hohen Dynamik in der Sonnenkorona, kommen weitere dynamische Prozesse, die in der Fortsetzung behandelt werden.

Raimund Leistenschneider - EIKE

Fortsetzung Teil 4 in Kürze

Dynamisches Sonnensystem – die tatsächlichen Hintergründe des Klimawandels

Heliosphärische Stromschicht (Heliopheric Current Sheet) und interplanetares Magnetfeld reichen weit bis über die Grenzen des Erdorbits hinaus und bestimmen damit maßgeblich das Wettergeschehen auf der Erde, wie das CERN bestätigte. Beide sind die Verbindungspartner der variablen Sonne zur Erde. Sie tragen sozusagen die variable Sonne bis vor unsere Haustür und somit in unser Wetter- und Klimageschehen hinein. Seit den Postulaten von Svensmark, dass kosmische Strahlung die Wolkenbedeckung über ionisierende Partikel (Nukleation) deutlich beeinflusst und deren jüngsten Bestätigung durch das CERN, kommt den elektrischen Prozessen in der Atmosphäre, unter denen üblicherweise nur elektrische Entladungen, also Blitze verstanden werden, die aber weitaus vielschichtiger sind, eine besondere Bedeutung zu. Die Fortsetzung von Teil 4 zeigt Sonnenparameter, die das Potential besitzen, hier in gleicher Weise Einfluss zu nehmen, wie die kosmische Strahlung.

Teil 1 – Die Sonne bestimmt den Temperaturgang
Teil 2 – Die Sonne, der faszinierende Stern
Teil 3 – Sonnenflecken und ihre Ursachen
Teil 4 – Die Sonnenatmosphäre, Korona**, Heliosphärische Stromschicht, interplanetares Magnetfeld**
Teil 5 – Die variable Sonne
Teil 6 – Der Einfluss der Sonne auf unser Wetter/Klima
Teil 7 – Der Einfluss der Sonne auf die Wolkenbedeckung über Svensmark hinaus
Teil 8 – Zukünftige Temperaturentwicklung und deren Schwankungen

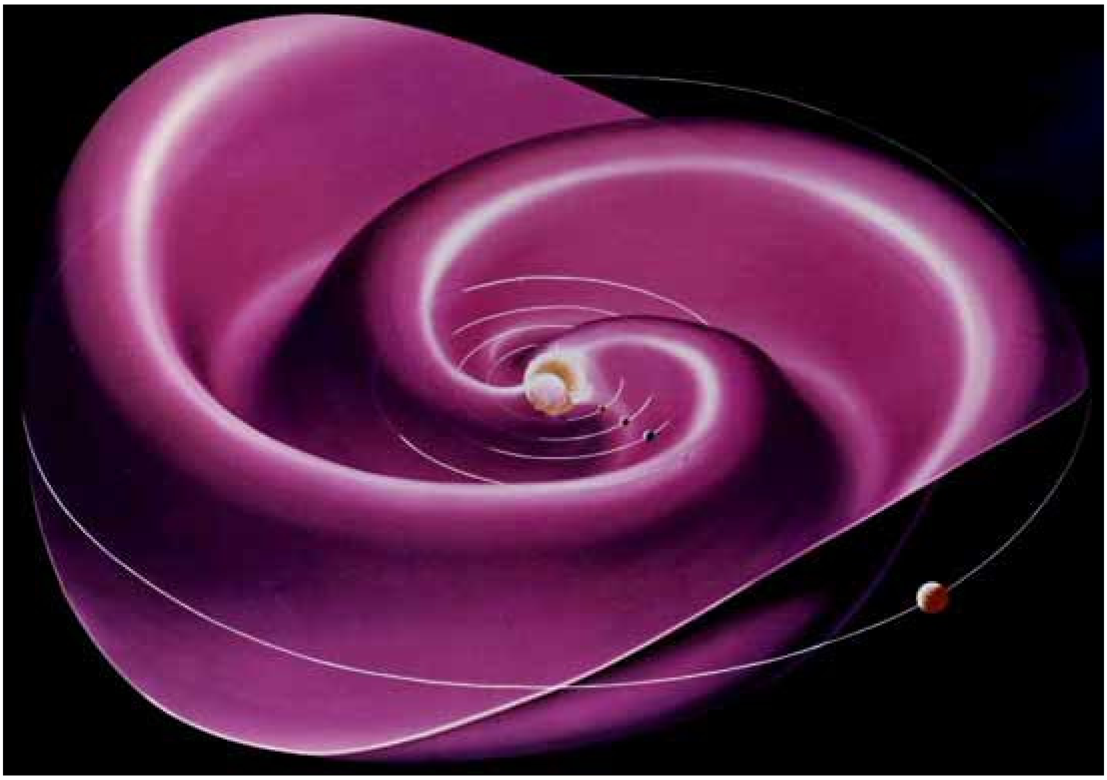


Abbildung 0

Teil 4 – Heliosphärische Stromschicht und interplanetares Magnetfeld

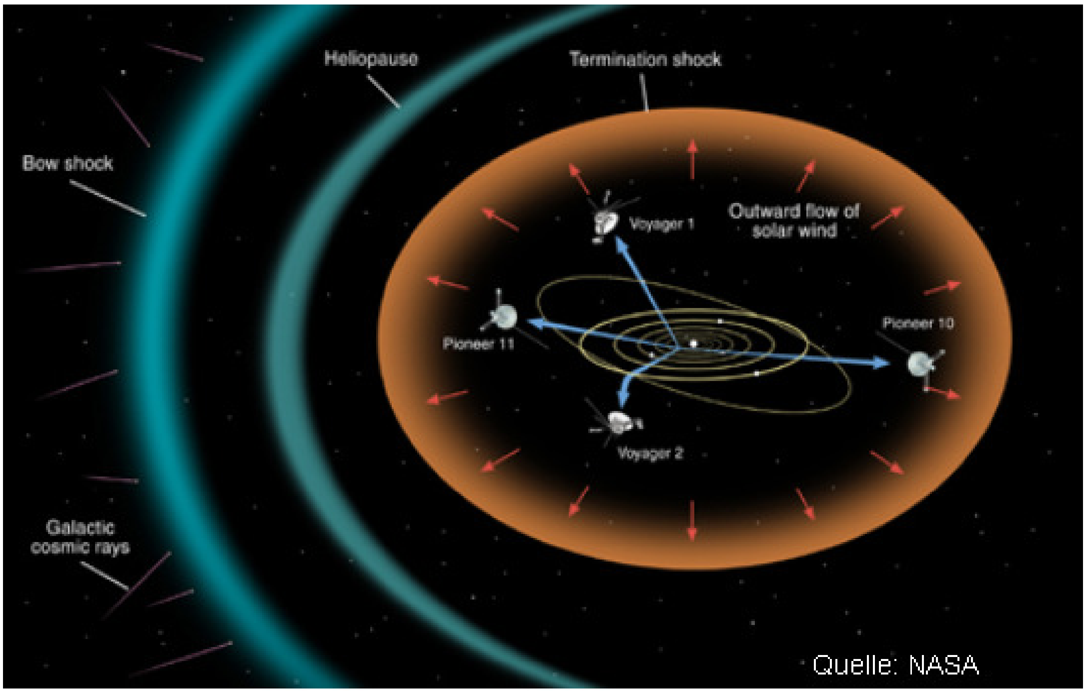


Abbildung 91 zeigt die Ausdehnung der Heliosphäre bis zu den Grenzen des Sonnensystems in ca. 22,5 Milliarden km.

Heliospheric Current Sheet (HCS)

Da das Interplanetarische Magnetfeld auf der Erdbahn mit bis 1 - 10 nT, 100 bis 1000-fach stärker ist, als das Dipolfeld der Sonne dies erwarten lässt (magnetische Dipolfelder klingen mit der dritten Potenz des Abstandes ab), muss es einen Effekt geben, der es verstärkt. Dies ist die Heliosphärische Stromschicht, die bis an die Grenzen des Sonnenwindes reicht. Dabei hat sie eine Breite von ca. 60.000 km (http://wind.nasa.gov/mfi/hcs.html#table). Der elektrische Strom in der HCS ist radial einwärts gerichtet und liegt bei ca. 10^{-4} A/km^2. Entgegen den Sonnenstrahlen wirkt er nicht in der Kreisfläche, sondern auf der Kugelfläche der Erde, wenn diese es passiert. Mit einem Durchmesser von 12.800 km (mit Atmosphäre, Kugelfläche: $5{,}15 \cdot 10^8$ km^2) kann auf die Hälfte der Erdatmosphäre ein Flächenstrom von über 25.000 Ampere einwirken.

Die Sonne rotiert differentiell um ihre Achse, die 7,2° gegen die Ekliptik geneigt ist. Am Sonnenäquator beträgt die Umlaufzeit etwa 25 Tage, an den Polen 36 Tage (in der Konvektionszone der Sonne, beträgt die Umlaufzeit 27 Tage).

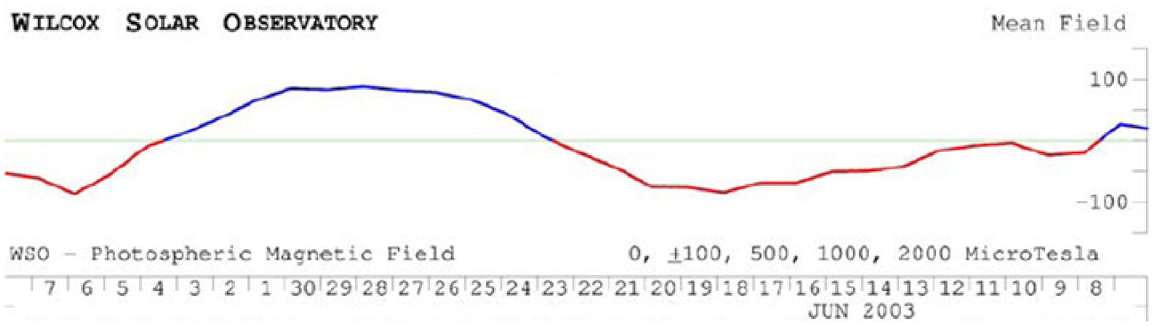


Abbildung 92, Quelle (http://www.sotere.uni-osnabrueck.de/spacebook/spacebook_files/lectures_d/space-kap6.pdf) zeigt die sog. Carrington-Rotation der Sonne von im Mittel 27 Tagen.

Durch die Sonnenrotation wird das Magnetfeld in Äquatornähe mehr aufgewickelt als in höheren Breiten, wodurch ein komplexes Muster entsteht, welches mit steigender Sonnenaktivität zunimmt.

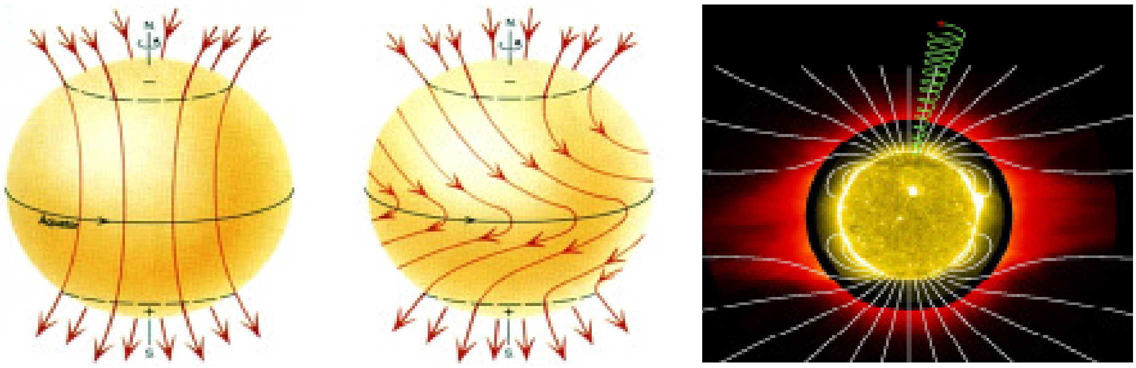


Abbildung 93: Durch die differentielle Rotation wird das starke solare Magnetfeld zum Äquator hin zunehmend aufgewickelt, wobei an den Polen scharf abgegrenzte koronale Löcher entstehen (Quelle: ESA). Mit einem magnetischen Dipol (wie die Erde) kann das solare Magnetfeld lediglich in einem solaren Aktivitätsminimum verglichen werden, Abbildung rechts (Quelle: http://soi.stanford.edu/results/SolPhys200/Poletto/uvcs_spiral.jpg).

In der Abbildung von der Stanford University ist ein im Magnetfeld beschleunigtes Teilchen dargestellt. Diese Teilchen bilden den Sonnenwind und werden in radialer Richtung von der Sonne weg beschleunigt. Wegen der Lorentzkraft müssen die Teilchen dabei den Feldlinien des interplanetaren Magnetfeldes folgen

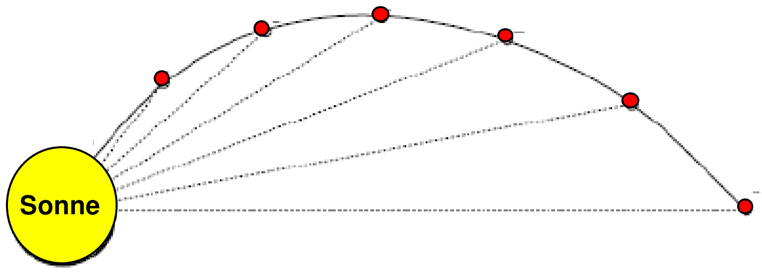


Abbildung 94: Der radial von der Sonne abströmende Sonnenwind trägt das Magnetfeld in den Orbit. Durch die Rotation entsteht eine archimedische Spirale (Kurve, die bei der Bewegung eines Punktes mit konstanter Geschwindigkeit auf einem Strahl entsteht, der mit konstanter Winkelgeschwindigkeit rotiert) in der die Magnetfeldlinien verlaufen.

Hieraus ergibt sich ein in der Ekliptik resultierendes Magnetfeld, dass nach seinem Entdecker, dem amerikanischen Astrophysiker Eugene N. Parker, Parker-Spiralfeld genannt wird.

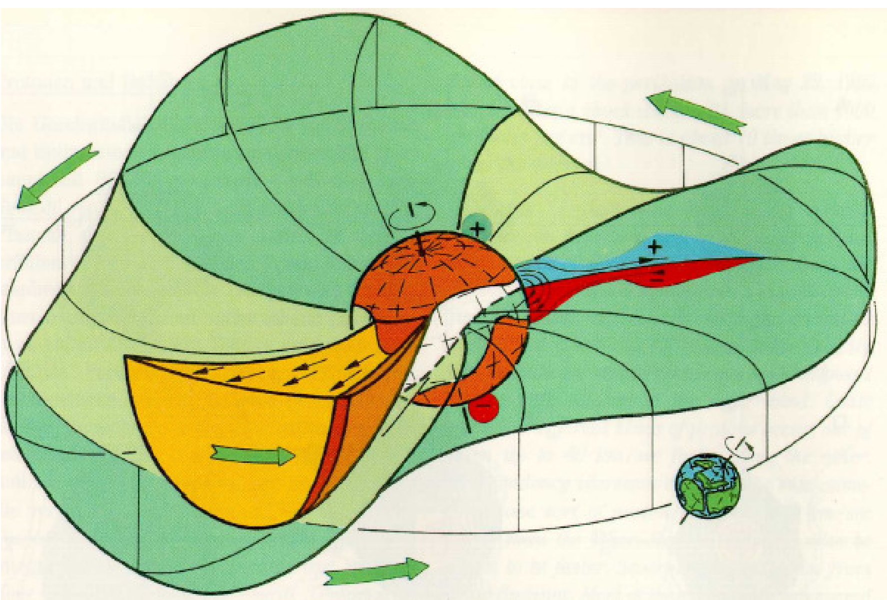


Abbildung 95 zeigt die Parker-Spirale im Sonnenminimum, Quelle: Alfvén (1977), aus Schwenn (1991). Zu der Sonnenneigung von 7,2° gegen die Ekliptik, nimmt auch das magn. Feld eine

Neigung zur Ekliptik ein. Zwischen der magn. Nord- und Südhälfte entsteht eine neutrale Grenzschicht, die Heliosphärische Stromschicht genannt wird. Der plötzliche Wechsel in der Richtung des Magnetfeldes induziert dort einen elektrischen Strom (HCS). Sie trennt die nördliche und südliche Hemisphäre magnetisch. Die HCS ist wie das IPF den solaren Zyklen unterworfen und passt sich diesen an.

Die HCS ist folglich ein Flächenstrom, der die Sonne mehr oder weniger scheibenförmig umgibt (solares Minimum) und in der eine Umkehr der horizontalen Magnetfeldrichtung stattfindet. Mit zunehmender solarer Aktivität wickelt sich die HCS mehr und mehr auf und nimmt die Form eines Ballerina-Röckchens an. Dabei verschiebt sich ihr relativer Winkel zur Ekliptik mehr und mehr.

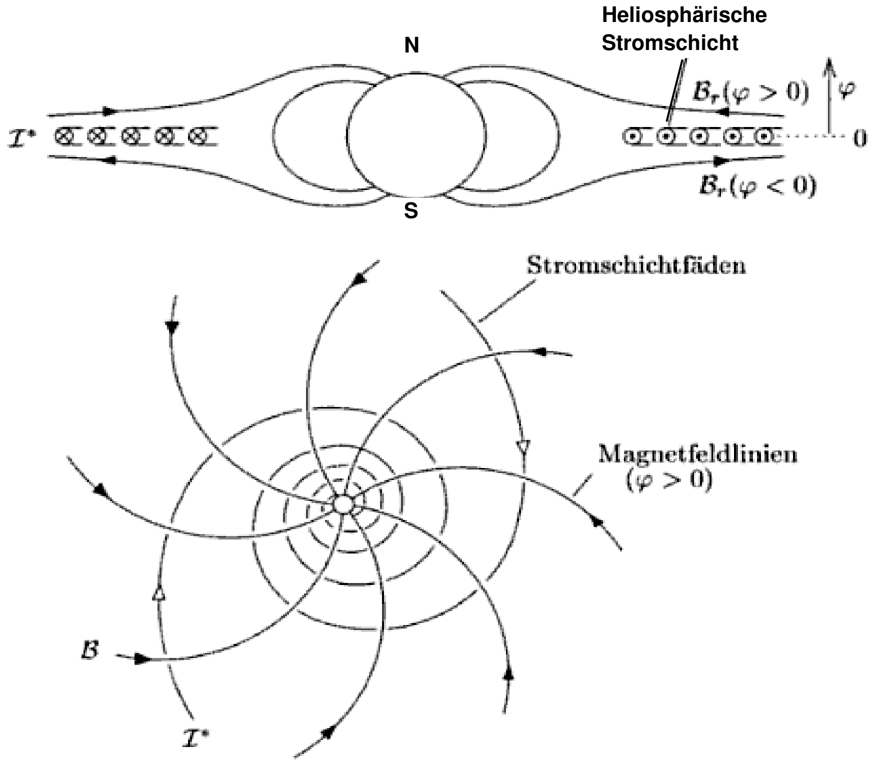
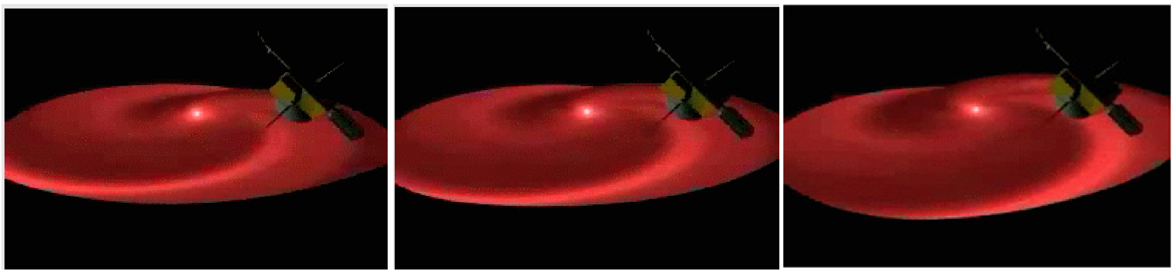
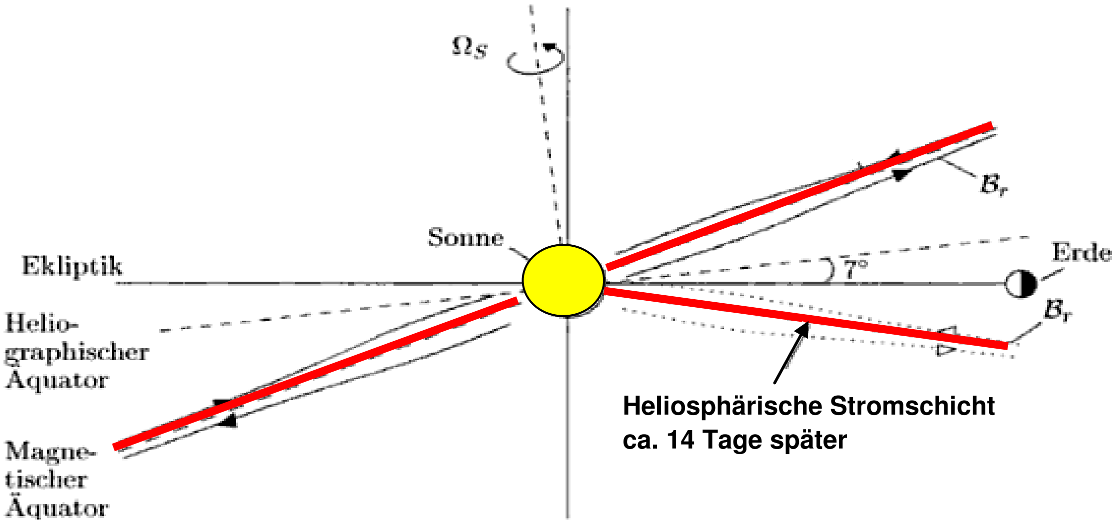


Abbildung 96 nach Alvén, 1981, zeigt die Heliosphärische Stromschicht und das zugehörige Magnetfeld im Meridionalschnitt und in der Aufsicht von Norden (magn. Südpol). Die Ströme fließen dabei entlang logarithmischer Spiralen (archimedische Spiralen), die senkrecht der magnetischen Feldlinien verlaufen. Adaptiert von "Physik des erdnahen Weltraums", **Prof. Gerd W. Prölss**, Universität Bonn.

Die Heliosphärische Stromschicht dreht sich mit der Sonne und braucht für einen Umlauf knapp 4 Wochen. In diesem Zeitfenster befindet sich die Erde einmal über und einmal unterhalb der HCS. Da sich die Erde in 365 Tagen einmal um die Sonne bewegt, gerät sie mehrfach abwechselnd in den Bereich von südlich, bzw. nördlich gerichteten Magnetfeldern der Sonne, wobei sie jedes Mal die Heliosphärische Stromschicht durchquert und die Erdatmosphäre Magnetströmen in der Summe von über 25.000 Ampere ausgesetzt ist.





Abbildungen 97 oben (Quelle: NASA) zeigen, wie sich die HCS mit der Sonnenrotation mit dreht und die Abbildung darunter (Quelle: Prof. Gerd W. Prölss) zeigt die Lage der HCS und des Sonnenäquators und dazu die Position der Erde einmal über und einmal unterhalb der HCS.

Da sich die Lage der HCS, wie bereits erwähnt, mit der solaren Aktivität ebenfalls ändert, entsteht ein komplexes Bild der Polaritäten und Potentialdurchgängen der Erde zur HCS und IPF.

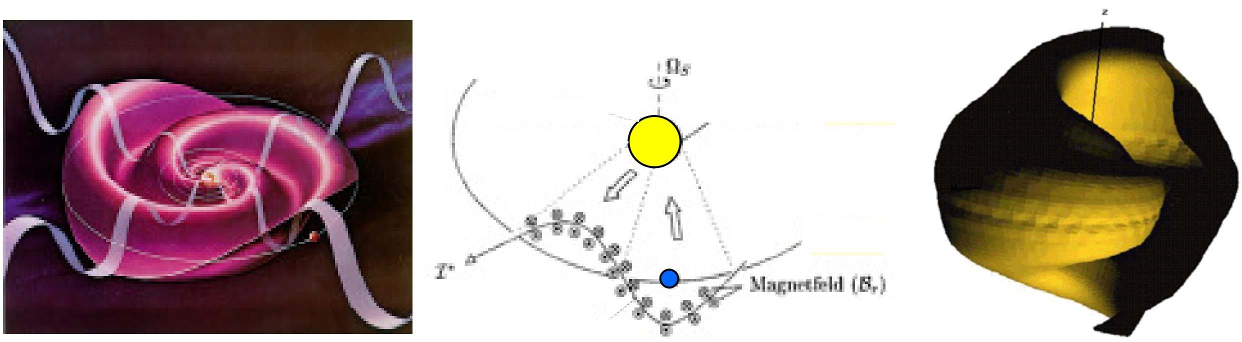


Abbildung 98: Links ist die Parker-Spirale zu sehen, die die HCS wiedergibt. Gut zu sehen, dass die HCS keine Ebene, sondern einem fliegenden Ballerina-Rock gleicht. Rechts ist die HCS während des Sonnenmaximum im März 2000 zu sehen, als sich auf Grund der starken magnetischen Aktivität ein zweiter Nordpol ausbildete. Die HCS hat sich immer mehr verdreht und die Form eines Schneckenhauses angenommen (Abbildungen, Quelle: NASA). In der Mitte ist die Verbiegung der Azimutkomponente der HCS auf der Höhe der Erdbahn abgebildet, wobei zusätzliche Magnetfeldsektoren entstehen, Quelle: Prof. Gerd W. Prölss.

Die Erde durchläuft demnach die HCS unregelmäßig, in Abhängigkeit zur Sonnenrotation und der magnetischen Aktivität der Sonne und des Sonnenwindes, der die HCS in den Raum treibt.

Die folgende Abbildung gibt einen räumlichen Eindruck über die sich ändernde Form der HCS bei einer Sonnenrotation. Sie zeigt die HCS auf die Sonnenoberfläche projiziert und damit im Schnitt.

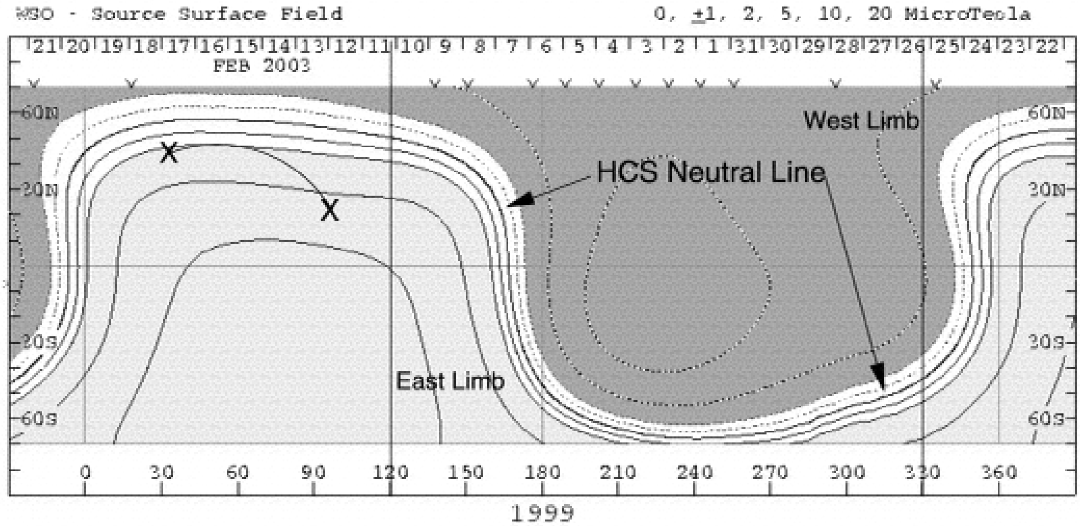


Abbildung 99 zeigt die Heliosphärische Stromschicht im Schnitt während einer Sonnenumdrehung nach Hoeksema & Scherrer, 1996 (Quelle: http://wso.stanford.edu/synsource.html). Gut ist ihr räumlicher Wellencharakter zu erkennen, der sich entsprechend im Sonnensystem ausbreitet und den die Erde bei ihrem Umlauf um die Sonne durchquert.

Anhand von Raumsondenmessungen entsteht ein ungeordnetes zeitliches Polaritäts-, bzw. Begegnungsmuster der Erde zum Interplanetarischen Feld und zur Heliosphärischen Stromschicht.

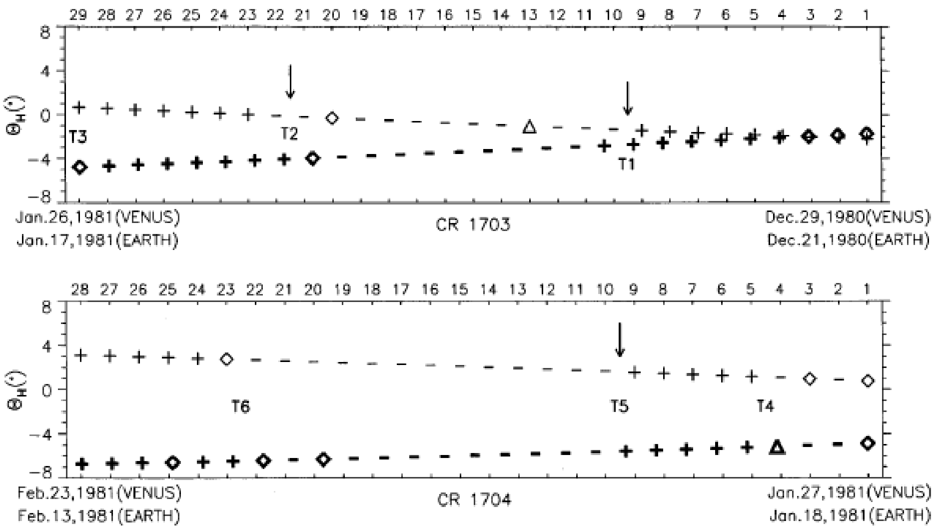


Abbildung 100 zeigt die Polaritäten des Interplanetarischen Feldes für die Venus (jeweils obere Datenreihe) und die Erde während der Sonnenrotation 1703 und 1704 (CR steht für Carrington Rotation). Die Daten für die Venus stammen vom Pioneer Venus Observer (PVO-Daten), Quelle: Ma et al., "Heliospheric current sheet inclinations at Venus and Earth", Ann. Geophysicae 17, 642-649 (1999). Als Bezugspunkt dient der Winkel zum Sonnenbreitengrad, also zur Lage der Sonne (θ_H = heliographic latitude). Anhand solcher Vergleichsmessungen lässt sich das räumliche Aussehen der Heliosphärischen Stromschicht bestimmen. Sie zeigen aber auch, wann die Erde (oder Venus) die HCS passierte. Dies ist bei jedem Poldurchgang der Fall, da die HCS beide Polhälften voneinander trennt.

Aus der Datenreihe oben ist ersichtlich, dass die Erde binnen weniger Tage mehrmals die Heliosphärische Stromschicht passierte, bzw. auf dieser verweilte. Bei einem Wirkstrom auf die Erdatmosphäre von ca. 25.000 Ampere pro Erdhälfte ist davon auszugehen, dass diese Vorgänge nicht ohne Einfluss auf unser unmittelbares Wettergeschehen bleiben. Sowie es eine Kopplung zwischen der Magnetosphäre und der Ionosphäre der Erde gibt, so gibt es genauso eine Kopplung zwischen der Magnetosphäre und den geladenen Teilchen in der Stratos- und Troposphäre.

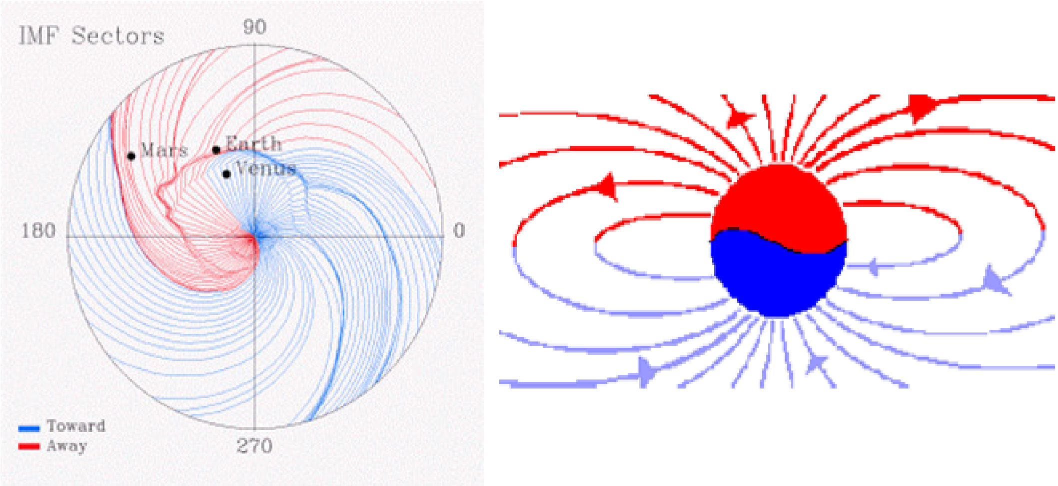


Abbildung 101: Die Feldlinien des Interplanetarischen Magnetfeldes weisen in ihrem Verlauf einmal von der Sonne weg (away, positive Polarität) und einmal zur Sonne hin (toward, negative Polarität, oben). Entsprechend richtet sich die Polarität des Interplanetarischen Magnetfeldes in eine Nord- und Südpolkomponente aus, rechts. Dazwischen verläuft die HCS. Abbildung 101 links zeigt schematisch das spiralförmige Magnetfeld in vier Sektoren unterteilt.

Abbildung 101 verdeutlicht, dass die Erde binnen kurzer Zeit mehrmals die Grenzschichten und somit die HCS passiert. Die HCS ist einem ständigen Wechsel unterzogen, wobei es während einer Sonnenrotation nur zwei Sektoren geben kann (ruhige Sonne). Ein Wechsel von Plus (die beiden oberen Sektoren im Bild) nach Minus (die beiden unteren Sektoren) und dann wieder zurück. Oder 4 Sektoren, wie im Bild zu sehen. Ein Wechsel von 1Plus nach 1Minus, wieder zurück aber nach 2Plus, dann nach 2Minus und schließlich zurück zum ersten Sektor.

In den ACE-Diagrammen (ACE = Advanced Composition Explorer-Satellit) wird dies in den phi-Diagrammen gemessen. Magnetstürme auf der Erde fallen während einem HCS-Durchgang besonders stark aus. Dies lässt Rückschlüsse zu, dass es starke Wechselbeziehungen zwischen der HCS und der Magnetosphäre der Erde gibt. Durch deren Kopplung zu den geladenen Teilchen in den darunter liegenden Atmosphärenschichten wiederum unmittelbare Einflüsse der HCS auf die Stratos-und Troposphäre, was wiederum nicht ohne Einfluss auf das Wetter sein kann.

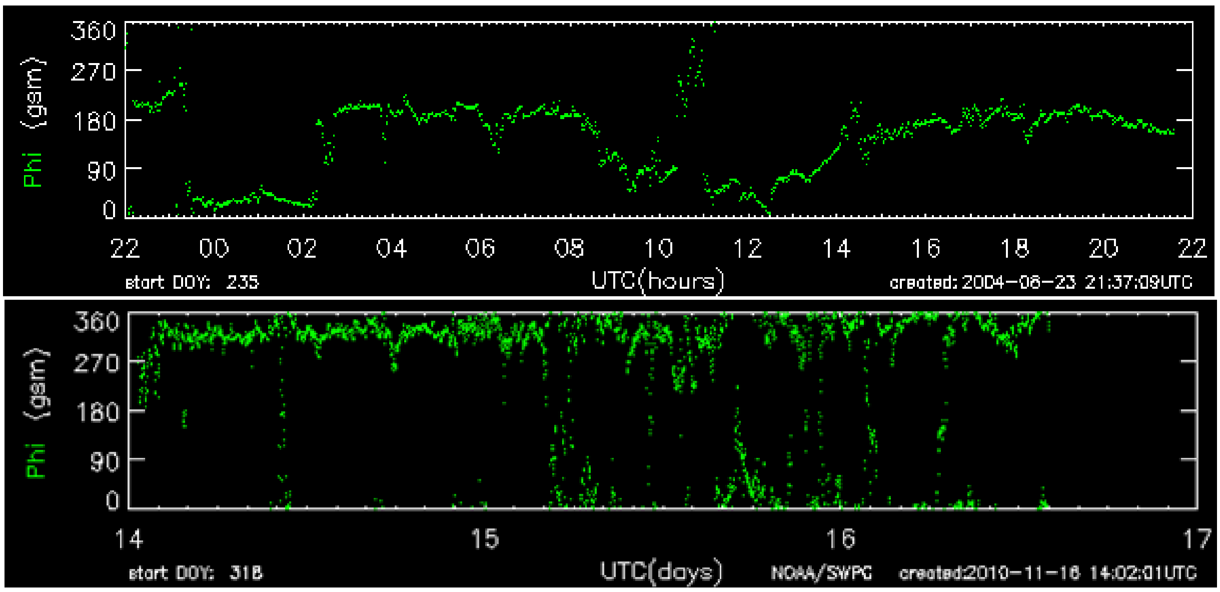


Abbildung 102: Die grüne Kurve phi zeigt die HCS für einen Tag am 22. August 2004 (23. Sonnenzyklus) und im Zeitraum vom 14.11. - 16.11.2010 (24. Sonnenzyklus). Ein Wechsel der Polarität (Winkel phi) findet dann statt, wenn ein Wechsel zwischen 180° und 360°, bzw. 0° oder umgekehrt stattfindet. Zur Interpretation der Messkurve ist zu beachten, dass die Kurve vor und nach einem Wechsel einige Tage konstant sein muss. Die Stanfort University

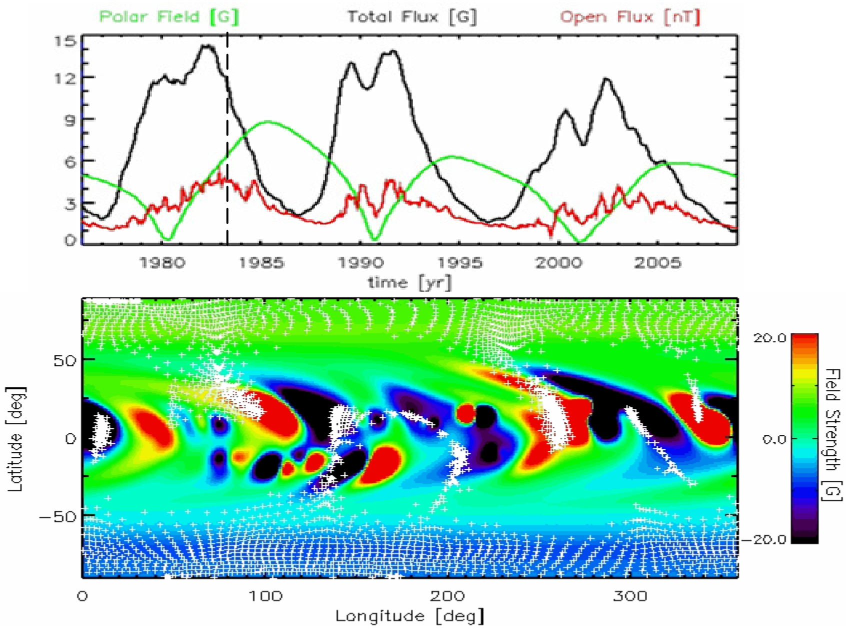
(http://wso.stanford.edu/SB/SB2.html) gibt hierzu die folgende Bedingung an (++++ : - - - -). Ein Durchgang durch die HCS dauert teilweise einen ganzen Tag. Kurz vor, während und nach einem HCS-Durchgang verursachen solare Ereignisse besonders starke Wechselwirkungen mit dem Erdmagnetfeld.

Seit Svensmark ist bekannt und durch CERN bestätigt, dass geladene Aerosolpartikel, die verstärkt durch kosmische Strahlung entstehen, bis zu 10-mal so effektiv in der Bindung von Regentropfen sind als ungeladene. Bei jedem Durchgang durch die HCS wirkt auf die geladenen Partikel in der Tropos- und Stratosphäre (Kopplung Magnetosphäre zu den geladenen Teilchen in der Stratos- und Troposphäre) durch den Stromfluss eine Kraftkomponente, die die Verteilung der geladenen Aerosolpartikel verändert. Es ist davon auszugehen, dass es zu örtlichen Konzentration, sowie zu Verdünnungen kommt, was nicht ohne unmittelbaren Einfluss auf das Wettergeschehen in der Atmosphäre bleiben kann.



Abbildung 103: Atmosphäreneffekte wie die Polarlichter (Alaska Knik Valley während des starken geomagnetischen Sturms am 08. April 2003, NASA) sind lediglich die sichtbaren Auswirkungen solarer Einflüsse auf die Erdatmosphäre. Diese sind, wie geschildert, weitaus komplexer und bedeutender. Der Sonnenwind regt in der Ionosphäre O_2-Moleküle an, die diese Energie im Wellenbereich des grünen Lichts wieder abgeben.

Bei den bisherigen Betrachtungen wurde davon ausgegangen, dass die HCS im Querschnitt, also in ihrer Dicke homogen ist – gleiche Stärke, wie gleichbleibende Richtung. Hiervon kann aber nicht ausgegangen werden, da sowohl der Sonnenwind, der die HCS mit sich führt, als auch die magnetische Aktivität der Sonne, die ihre Stärke bestimmt, nicht homogen sind. Die magnetische Aktivität der Sonne prägt denn auch ihr Muster in die HCS. Deren Strukturen formen das interplanetare Medium und tragen zu ihrer Dynamik bei.



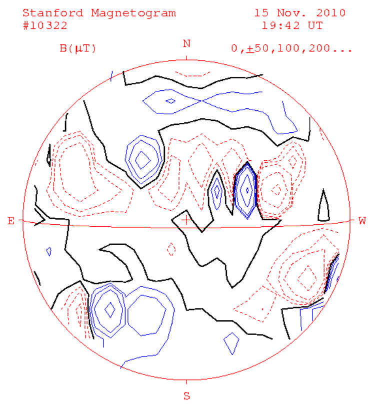


Abbildung 104 oben zeigt Total und Open Flux der IPF während der Sonnenzyklen 21 - 23, sowie das Polarfeld der Sonne. Darunter die Feldstärke des solaren Magnetfeldes als Momentaufnahme im Jahr 1984 (gestrichelte Linie in der Abbildung darüber). Der Open Flux ist das Interplanetarische Magnetfeld (seine Feldstärke), der Total Flux, dass Magnetfeld der

Sonne und das Polar Field, dass Polare Magnetfeld der Sonne, Quelle: (http://www.mps.mpg.de/projects/solar-mhd/research_new.html). Die zeitlichen und örtlichen Inhomogenitäten des solaren Magnetfeldes bewirken, dass deren Fortsetzung im interplanetarischen Raum, das IPF, sowie deren Grenzschicht, die HCS ebenfalls inhomogen sind. Die Abbildung rechts zeigt das Magnetogramm der Sonne für einen bestimmten Zeitpunkt (15.11.2010, 19:42 UT), Quelle. WSO, Stanford University. Das dort zu sehende und sich fortwährend ändernde Magnetfeldmuster der Sonne wird über den Sonnenwind in den interplanetaren Raum und somit in die Heliosphärische Stromschicht getragen.

Des Weiteren besteht der Sonnenwind und das mit ihm verbundene IPF nicht nur aus einer polarisierten Teilchenart, sondern aus beiden. Aus positiv geladenen Protonen (Wasserstoffatome ohne Elektron), bzw. α-Teilchen (Helium-Kerne, 5%) und aus negativ geladenen Elektronen. Beide Teilchenklassen bewirken Stromflüsse, die sich mit dem Sonnenwind, entsprechend ihrer Verteilung überlagern und die HCS entsprechend ihrem Verteilungsmuster beeinflussen. Hinzu kommt, dass sich der Sonnenwind mit Überschallgeschwindigkeit (der im Plasma vorherrschenden Schallgeschwindigkeit) ausbreitet, was zu Turbolenzen in der Schicht führt.

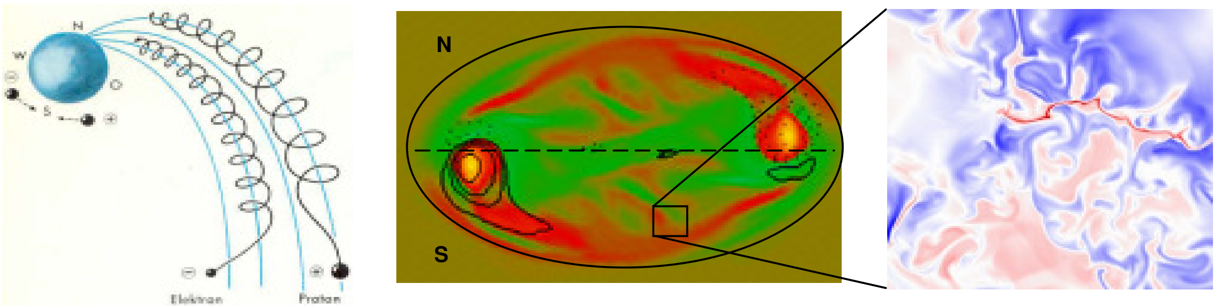


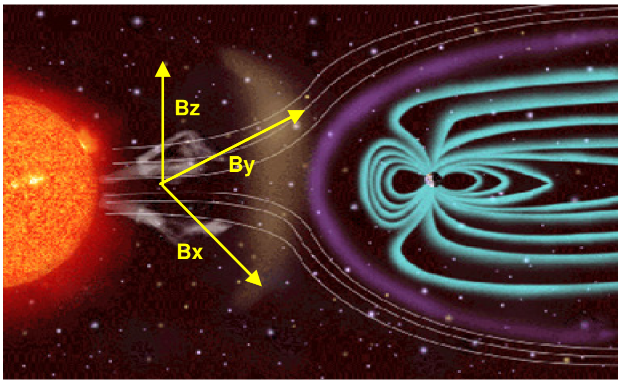
Abbildung 105 links zeigt die unterschiedliche Ablenkung positiv und negativ geladener Teilchen an Magnetfeldlinien. Die Abbildung in der Mitte zeigt einen Schnitt durch die HCS. Die Farben geben die möglichen Variationen der magnetischen Stromstärke an. Die Dicke beträgt mehrere 10.000 km. Die Abbildung rechts soll als Vergleich zeigen, wie auf kleinen Skalen sich die magnetischen Turbolenzen in der HCS widerspiegeln und ein komplexes Muster des magnetischen Stromflusses in der HCS bewirken.

Bei jedem Durchgang der Erdatmosphäre durch die HCS ist die Atmosphäre ungleichen Kraftkomponenten ausgesetzt, die der inhomogene magnetische Strom der HCS auf die Magnetosphäre und deren Kopplung mit den geladenen Teilchen in der Atmosphäre ausübt. Es ist davon auszugehen, dass es örtlich zu Ansammlungen, sowie Ausdünnungen von elektr. geladenen Aerosolpartikeln kommt, was nicht ohne Auswirkungen auf die Kondensation, damit Wolkenbedeckung und auf das Wetter bleiben kann. Es ist bekannt, dass kurz vor, während und kurz nach einem HCS-Durchgang solare Ereignisse besonders stark mit dem Erdmagnetfeld wechsel wirken.

Interplanetares Magnetfeld (IPF)

Das Interplanetarische Magnetfeld, welches bei Messungen auch als Open Flux bezeichnet und in Nanotesla angegeben wird, ist das von der Sonne stammende Magnetfeld, welches sich im interplanetaren Raum, also dem Raum, der nicht von den Planeten bestimmt wird, ausbreitet. Es wirkt in der gesamten Heliosphäre und reicht bis an die Grenzen des Sonnensystems, zur Heliopause, welche ca. 22,5 Milliarden km von der Sonne entfernt ist.

Im Bereich des Interplanetarischen Magnetfeldes wird ein Großteil der geladenen Partikel der kosmischen Strahlung abgelenkt. Das Interplanetarische Magnetfeld ist somit ein Schutz der Planeten vor dem Bombardement der hochenergetischen kosmischen Strahlung.



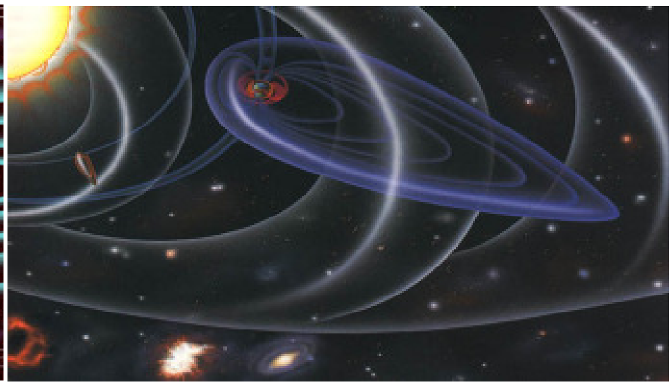
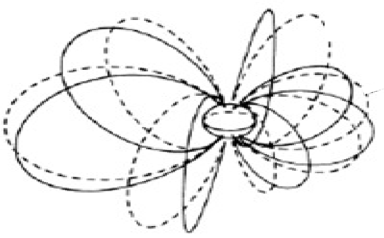


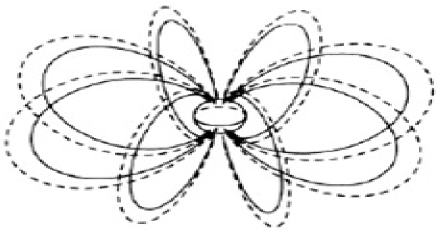
Abbildung 106 links zeigt die Auswirkungen der IPF auf das irdische Magnetfeld. Das IPF lässt sich im Raum in drei Koordinaten zerlegen, wobei zwei in der Ekliptik liegen und eine (Bz) senkrecht dazu. Die Änderung dieser Komponente ist besonders interessant, weil sie parallel zum Erdmagnetfeld verläuft und daher mit diesem besonders wechselwirkt. Abbildung rechts zeigt, wie sich die Feldlinien des IPF im Raum ausbreiten.

Wie bereits bei der HCS festgehalten, ist das IPF ein fester Bestandteil des Sonnenwindes und wird durch diesen in Form von Parker-Spiralen (ruhige Sonne) in den Raum ausgebreitet.

Sonnenwind und IPF stehen in direktem Zusammenhang mit der Sonnenaktivität, wobei der Sonnenwind in zwei Komponenten aufgeteilt wird, den schnellen Sonnenwind mit Teilchengeschwindigkeiten von 500 - 800 km/s, aus den koronalen Löchern und der daher eine große Beschleunigung erhält und dem langsamen Sonnenwind mit Teilchengeschwindigkeiten von 250 - 400 km/s, der hauptsächlich aus dem Streamer Belt (benannt nach Aufnahmen während einer Sonnenfinsternis) der Korona stammt. Die Sonnenwinddichte in Erdnähe beträgt $3 \cdot 10^6$ - $1 \cdot 10^7$ Teilchen/m^3. Während die Stärke des IPF (Open Flux) in Nanotesla angegeben wird, wird der Sonnenwindfluss in Teilchen/m^3 und die Stärke des Sonnenwindes in Nanopascal angegeben. Das magnetische Feld aus den aktiven Regionen der Sonne wird Nichtachsen-symmetrischer offener Fluss (Nonaxisymmetric Open Flux) und das magnetische Feld aus den Polarregionen, Achsensymmetrischer offener Fluss (Axisymmetric Open Flux) genannt, weil dieses Feld zur Achse der Sonne symmetrisch verläuft (folgende Abbildung).



Nichtachsen-symmetrischer Offener Fluss (Toroidal)



Achsen-symmetrischer Offener Fluss (Polar)

Nun kann die Frage aufkommen, warum das solare Magnetfeld überhaupt in Komponenten aufgeteilt werden muss, weil doch auf die Erde das gesamte Magnetfeld der Sonne wirkt. Die besondere Stellung der Bz-Komponente des IPF wurde bereits genannt. Für die Wirkung der kosmischen Strahlung auf die Erde ist dagegen dass in Bahnebene, in der sich die Planeten bewegen, sich ausbreitende Magnetfeld der Sonne maßgeblich. Dies ist der Nonaxisymmetric Open Flux. Die Sonnenwindstärke wiederum hängt von beiden (polar und toroidal) ab, wobei die Teilchen mit höherer Geschwindigkeit aus dem Polarfeld, den koronalen Löchern kommen. Die Aktivität des Polarfeldes zum Total und Open Flux ist genau umgekehrt und verschwindet im Sonnenmaximum. Aus der Sonnenwindgeschwindigkeit lässt sich daher nur teilweise auf die Aktivität der Sonne schließen.

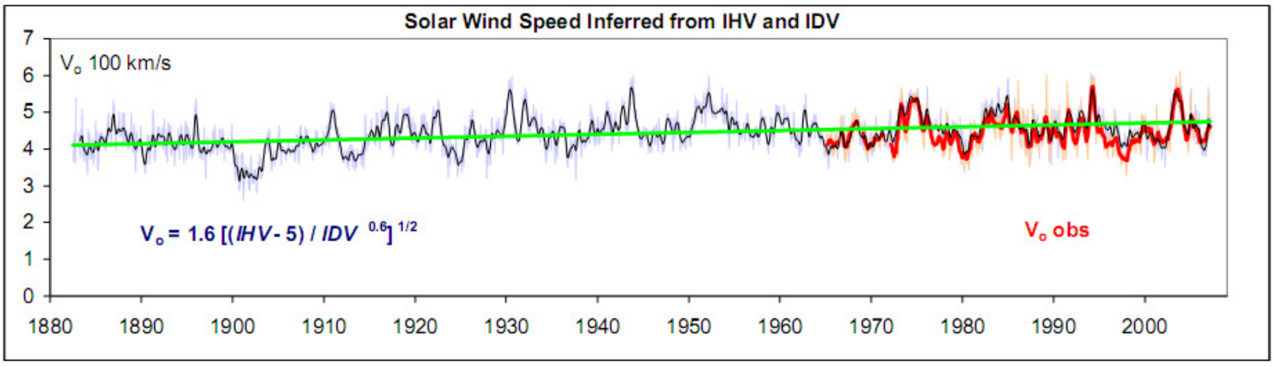
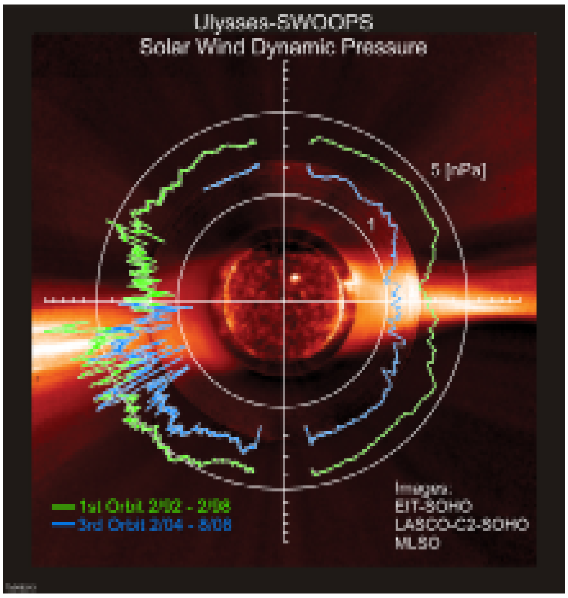


Abbildung 107 (Quelle: http://www.leif.org/research/files.htm) zeigt den 27-Tage-Durchschnitt der Sonnenwindgeschwindigkeit in 100 km/s von 1880 - 2009, nach Leif Svalgaard. Blau, aus IHV (**I**nter-**H**our **V**ariability-Index) und IDV (**I**nter **D**iurnal **V**ariability) rekonstruiert; rot sind direkt gemessene Werte. In der Sonnenwindgeschwindigkeit sind zwar die solaren Grundzyklen erkennbar, jedoch lassen sich daraus allein keine Rückschlüsse auf die globalen Temperaturen schließen. Hierzu bedarf es weiterer Parameter.

Nach Daten der NASA hat der Sonnenwind in der ersten Dekade des 21. Jahrhunderts stark abgenommen, was, wie bereits mehrfach gezeigt, auf die derzeit schwache solare Aktivität zurück zu führen ist. So zeigt Abbildung 108 links die Stärke des Sonnenwindes und Abbildung 108 rechts, wie sich mit ihm oder genauer, der solaren Aktivität (mit ihr hängt bekanntlich der Sonnenwind zusammen), die globalen Temperaturen variieren.



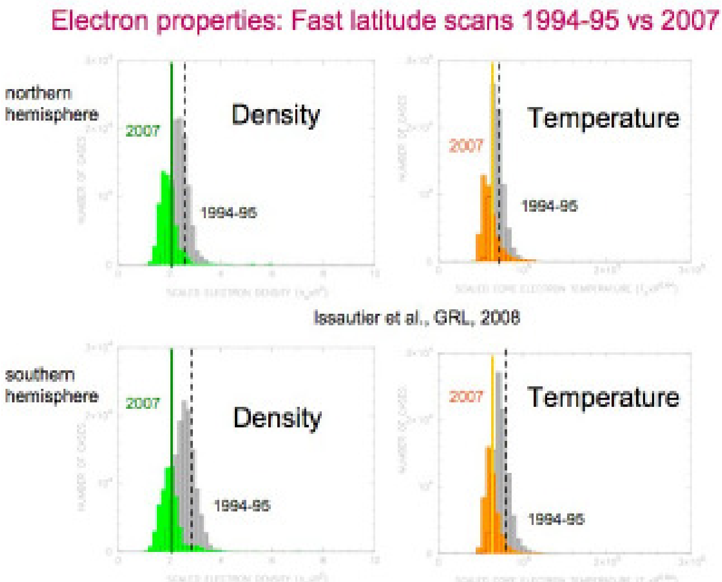


Abbildung 108: Links ist anhand der Ulysses-Daten die Stärke des Sonnenwindes (Produkt aus Teilchengeschwindigkeit und Koronatemperatur) im Zeitraum von 02/92 - 02/98 (grün) und von 02/04 - 08/08 (blau) als Raumdiagramm dargestellt. Da die Koronatemperatur in direktem Maße die magnetische Aktivität der Sonne wiedergibt – die Korona wird von dieser aufgeheizt (siehe Rekonnektion und Korona) ist die Sonnenwindstärke ein Maß für die solare Aktivität. In Abbildung links, zeichnen sich scharf die beiden koronalen Löcher in Nord und Süd ab, Quelle: NASA, "Solar Wind Loses Power, Hits 50-Year Low", 23.09.2008. Deutlich ist erkennbar, dass die Sonne zwischen 2004 und 2008 ruhig ist. Rechts ist als Histogramm dargestellt, die Stärke und Verteilung des Sonnenwindes, getrennt für die nördliche und südliche Hemisphäre der Erde und daneben, ebenfalls als Histogramm, die globalen Erdtemperaturen. Globale Temperatur und Sonnenaktivität sind nach den Untersuchungen der NASA deckungsgleich.

Auch diese Abbildungen zeigen, dass die stark zurück gehenden Temperaturen der letzten Jahre auf die verringerte Sonnenaktivität zurückzuführen sind. Die Ulysses-Daten belegen, dass der mittlere Sonnenwinddruck um 20% zurückging, was in erster Linie auf die geringere Temperatur der Korona und auf die verringerte Sonnenwindstärke (Teilchen/m^3) zurückzuführen ist. So wurde der Sonnenwind im Vergleichszeitraum 13% kühler und 20% geringer. Nach

Messungen der NASA schwächte sich das Magnetfeld der Sonne in dem betrachteten Zeitraum um 30% ab.

Es wurde bereits genannt, dass der Bz-Komponente des IPF eine besondere Bedeutung zukommt, da diese Komponente mit dem Erdmagnetfeld am stärksten wechselwirkt. So sind Polarlichter, die ein direkt beobachtbares Zeichen starker Sonnenaktivität sind, umso wahrscheinlicher, je stärker das IPF und je negativer deren Komponente, die Bz ist. Dies hängt damit zusammen, dass südlich (negativ) gerichtete Magnetfelder des IPF, die antiparallel zu den Magnetfeldlinien des Erdmagnetfeldes verlaufen, das Magnetfeld der Erde schwächen, so dass es dabei zu einem magnetischen Kurzschluss kommt (bei „verschmelzen" der Feldlinien). Das magn. Schutzschild der Erde ist dann durchlöchert und geladene Teilchen können bis in niedere Breiten in tiefere Schichten der Erdatmosphäre gelangen. Nach Untersuchungen der NASA gelangen bis zu 20-mal mehr geladene Teilchen dann in die unteren Atmosphärenschichten!

Bekanntlich sind die Auswirkungen der Teilchenströme in den Polregionen am größten, weil dort die magnetischen Feldlinien ausfließen. Daher liegt es nahe, zu untersuchen, inwieweit dies Auswirkungen auf die dortigen Klimaparameter hat, wenn postuliert wird, dass geladene Atmosphärenteilchen Einfluss auf das Wetter und damit auf die Temperaturen haben.

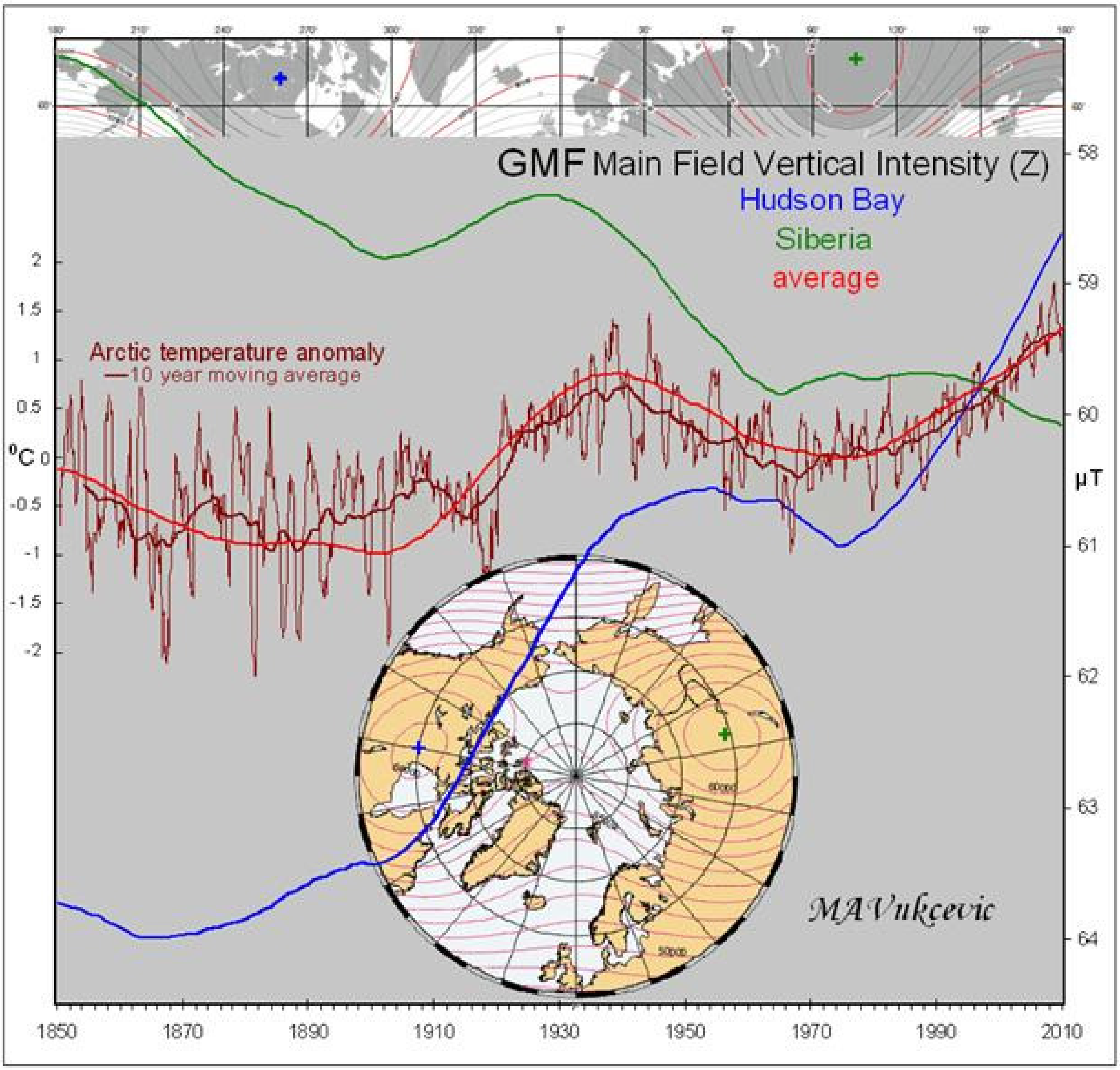


Abbildung 109: Zu sehen (Quelle: http://www.appinsys.com/GlobalWarming/EarthMagneticField.htm) sind jeweils die vertikale (Z) Komponente des Erdmagnetfeldes. Diese steht in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Interplanetarischen Magnetfeld (GMF = Geo-Magnetc Field). Gewählt wurden zwei Punkte, die

sich gegenüberstehen (rotes und grünes Kreuz) und deren Resultierende nahe dem magnetischen Nordpol liegt (rote Kurve). Der Temperaturgang der arktischen Temperaturen stimmt exakt mit der magnetischen Aktivität und damit mit der Sonnenaktivität überein.

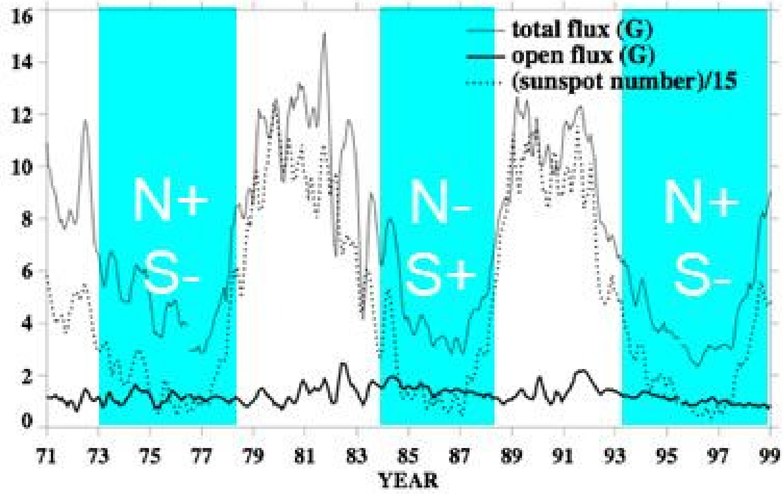


Abbildung 110a: Für aktuelle Temperaturtrends werden meist 30-Jahres Vergleiche herangezogen, da dieses Zeitfenster per Definition als Klima definiert ist. Werden dazu die vergangen 30 Jahre verwendet, so fällt dieser Zeitraum mit der nebenstehenden magnetischen Polarität des Sonnenmagnetfeldes zusammen. In diesem Zeitraum (bis 2009) befand sich am geographischen Nordpol der Sonne, zweimal der magnetische Nordpol. Dies bedeutet im solaren Minimum, dass die Feldlinien antiparallel zum Erdmagnetfeld ausgerichtet sind.

Antiparallele Ausrichtung der IPV-Feldlinien führt bekanntlich zu einer Schwächung des Erdmagnetfeldes, wodurch mehr geladene Teilchen in die unteren Atmosphärenschichten gelangen. Nun ist das solare Magnetfeld kein Dipol, wie bei der HCS gesehen und die Erde nicht permanent im Bereich einer Polarität, insbesondere nicht, wenn sich die Aktivität der Sonne erhöht, bei ruhiger Sonne gilt indes das obige Polarisationsmuster und es wurde auch nur für die Zeiträume im Sonnenminimum blau hinterlegt.

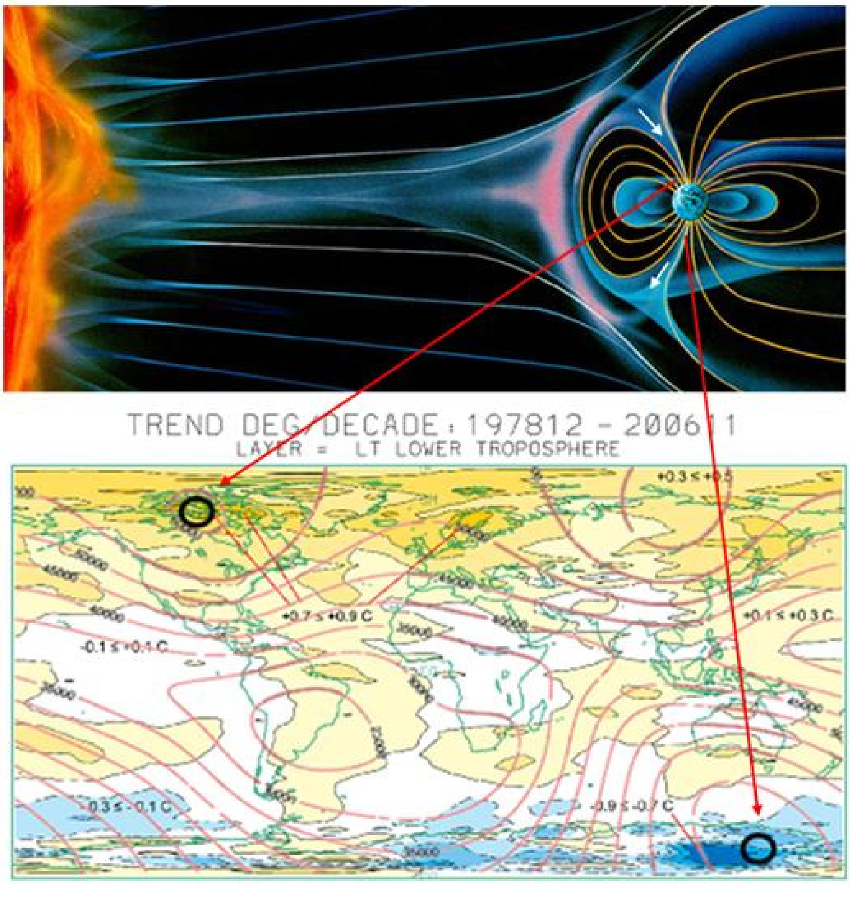


Abbildung 110b, Quelle: (http://www.appinsys.com/GlobalWarming/EarthMagneticField.htm) zeigt vereinfacht die Wechselwirkung des IPV mit dem Erdmagnetfeld (weiße Pfeile) und den Verlauf der Feldlinien im solaren Minimum, wenn magnetischer und geographischer Nordpol räumlich zusammen liegen. Darunter sind die globalen Temperaturanomalien in der Fläche für den Zeitraum 12/1978 - 11/2006 zu sehen. Am magnetischen Nordpol (Kreis), wo die Feldlinien und somit die geladenen Partikel einfließen, kommt es zu einer Temperaturerhöhung und am Südpol, wo die Feldlinien heraustreten, also keine Partikel einfließen, kommt es zu einer deutlichen Temperaturabnahme. Klimaschaukel Arktis-Antarktis!

Die polare Temperaturverteilung auf der vorherigen Seite ist ein Hinweis, dass geladene Aerosolpartikel unmittelbar auf Wetter und damit auf die Temperaturen Einfluss nehmen. Dort, wo die magnetischen Feldlinien und mit ihnen der ionisierte Partikelstrom einfließt, kommt es laut NASA (http://www.nasa.gov/mission_pages/themis/news/themis_leaky_shield.html) zu einer 20-fachen Erhöhung der ionisierten Sonnenpartikel und dort kommt es auch zu der deutlichsten Temperaturzunahme. Im Gegenpol stattdessen zu der deutlichsten Temperaturabnahme. Die Erkenntnis aus der Abbildung, gibt auch einen Ansatzpunkt, für die Klimaschaukel zwischen der Arktis und der Antarktis auf kurzen Zeitskalen theoretisch zu begründen.

Dass es an den Polen zu einer Verdichtung, also Ansammlung von geladenen Partikeln kommt, liegt zum einen, am Verlauf der magnetischen Feldlinien und zum anderen, dass das Polarlichtgebiet zwischen 1.000 und 4.000 km Höhe auf geladene Teilchen wie ein elektrostatischer Beschleuniger wirkt.

Elektronen und Ionen werden aufgrund ihrer unterschiedlichen elektrischen Ladung dabei entlang der Feldlinien in entgegen gesetzte Richtungen beschleunigt. Messungen haben ergeben, dass die Beschleunigung in stationären horizontalen Schichten von 10-20 km vertikaler Dicke erfolgt (Quelle: MPG). Dabei werden Elektronen abwärts beschleunigt und können dabei Moleküle ionisieren, wobei diese dann eine negative Ladung tragen.

Es gibt weitere Belege, die zeigen, dass die Wolkenbedeckung und damit die Kondensationskeime, bzw. die Aerosole, die als Vorraussetzung für die Entstehung von Wasserpartikeln in der Atmosphäre notwendig sind, von der Polarität des solaren Feldes abhängen. Dies sind die Daten über die globale Wolkenbedeckung von dem ISCCP (**I**nternational **S**atellite **C**loud **C**limatology **P**roject). Nach Svensmark ist bereits bekannt, dass die Wolkenbedeckung mit der kosmischen Strahlung variiert (Abbildung 111). Die kosmische Strahlung wiederum ist gegenläufig zur solaren Aktivität und der 11-jährige Schwabe-Zyklus zeichnet sich darin eindeutig ab.

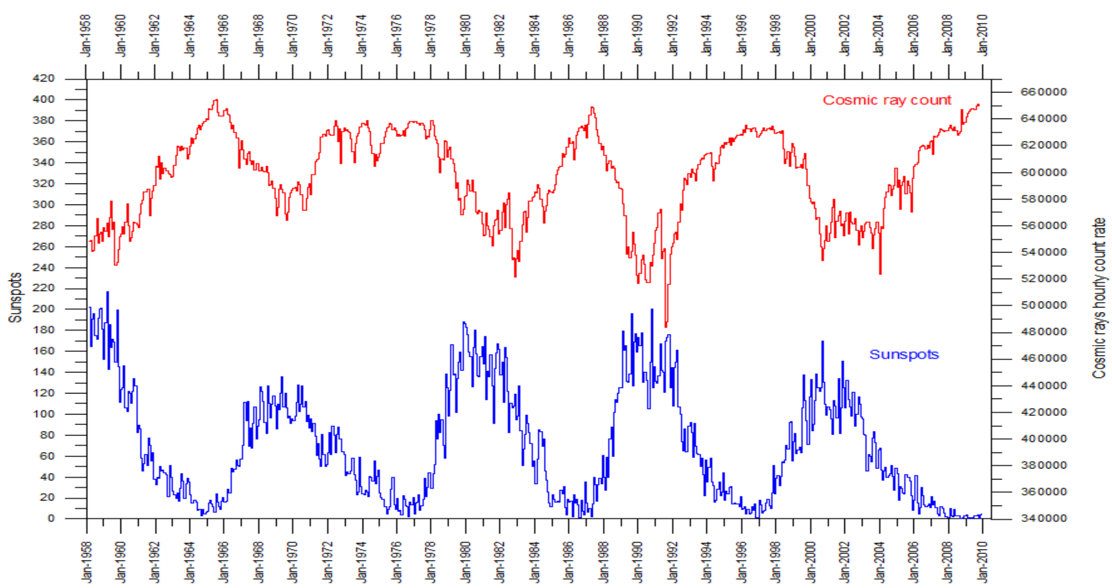


Abbildung 111 (http://www.climate4you.com/Sun.htm) zeigt die Sonnenfleckenzahl und die kosmische Strahlung (Neutronen-Monitor) von Januar 1958 - 06. November 2009. Deutlich ist

zu sehen, dass eine erhöhte Sonnenaktivität die Erde vor kosmischer Strahlung abschirmt. Während eines solaren Aktivitätsminimas gelangt vermehrt kosmische Strahlung zur Erde.

Die physikalische Erklärung für diesen Zusammenhang ist in der folgenden Abbildung rechts bildhaft dargelegt.

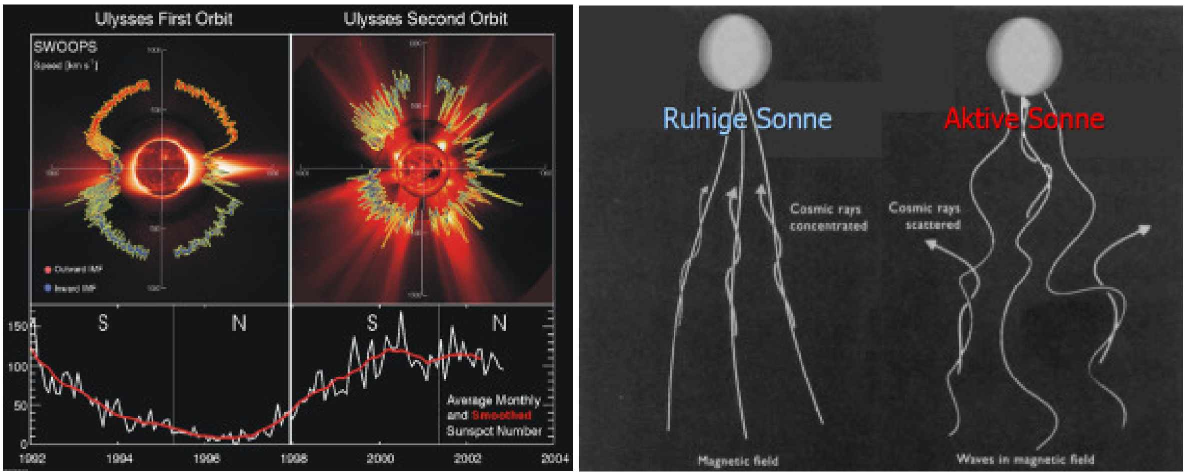


Abbildung 112 ganz links zeigt das Magnetfeld der Sonne als Dipolfeld im solaren Minimum, aufgenommen von der Sonnensonde Ulysses (SWOOPS = **S**olar **W**ind **O**bservations **O**ver the **P**oles of the **S**un). Daneben das Magnetfeld während dem Aktivitätsmaximum. Rechts ist der Verlauf der geladenen Partikel der kosmischen Strahlung an den Magnetfeldlinien der Sonne gezeigt. An aufgewickelten Magnetfeldlinien während aktiver Sonne, werden die Partikel abgelenkt und nach außen aus dem Planetensystem gestreut.

Dass die kosmische Strahlung im Gegentakt zur Sonnenaktivität verläuft, liegt neben dem höheren Betrag der Aktivität daran, dass das solare Magnetfeld nur im Aktivitätsminimum ein Dipolfeld darstellt, wogegen mit zunehmender Sonnenaktivität die Polaritäten (die ein- und ausfließenden Magnetfeldlinien, award, bzw. toward-IMF, siehe HCS) mehr und mehr vermischt werden und sich die magnetischen Feldlinien mehr und mehr aufwickeln.

Die folgenden Teile zeigen, wie sich das bisher theoretisch gezeigte, auf das Wetter- und Klimageschehen auswirkt.

Raimund Leistenschneider - EIKE

Teil 5 in Kürze

Dynamisches Sonnensystem – die tatsächlichen Hintergründe des Klimawandels

Die Verfechter des anthropogenen Klimawandels oder, wie er noch bis vor ein paar Jahren hieß, der anthropogenen Klimaerwärmung, werden nicht müde zu betonen, dass der auf gemittelten Messungen beruhende globale Temperaturverlauf (gehen wir der mal davon aus, so was gäbe es, eine Globaltemperatur) seit 30 Jahren nicht mehr mit der solaren Aktivität konform liefe. Der Temperaturverlauf wäre von der Sonnenaktivität abgekoppelt. Allein diese Aussage ist angesichts des alleinigen Energielieferanten Sonne (99,98% der Energie, die die Erde erhält, kommen von ihr, der klägliche Rest stammt aus dem warmen Erdinnern – von CO_2 keine Rede!), bei klarem Verstand eine Ungeheuerlichkeit. Mehr noch, zur Beweisführung werden Methodiken herangezogen, die entweder aus der Zeit des Mittelalters stammen, wie z.B. die Zählung der Sonnenflecken oder Taschenspielertricks angewendet, indem Mogelpackungen wie der TSI (Total Solar Iradiance), der nur einen Teilausschnitt der solaren Aktivität erfasst, von „Total" demnach keine Rede sein kann, herangezogen werden. Wie bereits im Teil 4 begonnen, zeigt Teil 5, dass zur korrekten solaren Aktivität TSI und/oder Sonnenfleckenzahl nicht taugen und welche Parameter hierzu notwendig sind. Dass Sie mich nicht missverstehen, die Fleckenzahl ist sehr wohl ein Parameter, die solare Aktivität abzuschätzen. Sie ist vorzugsweise dann zu wählen, wenn Vergleiche auf längeren Zeitskalen notwendig sind, da verlässliche Daten bereits seit dem 17. Jahrhundert vorliegen. Der heutige technologische Fortschritt, erlaubt exaktere Messungen, nach denen Globaltemperatur und Sonnenaktivität bis in die heutige Zeit synchron laufen und keine physikalischen Parameter lassen hierzu eine Änderung für die Zukunft erwarten.

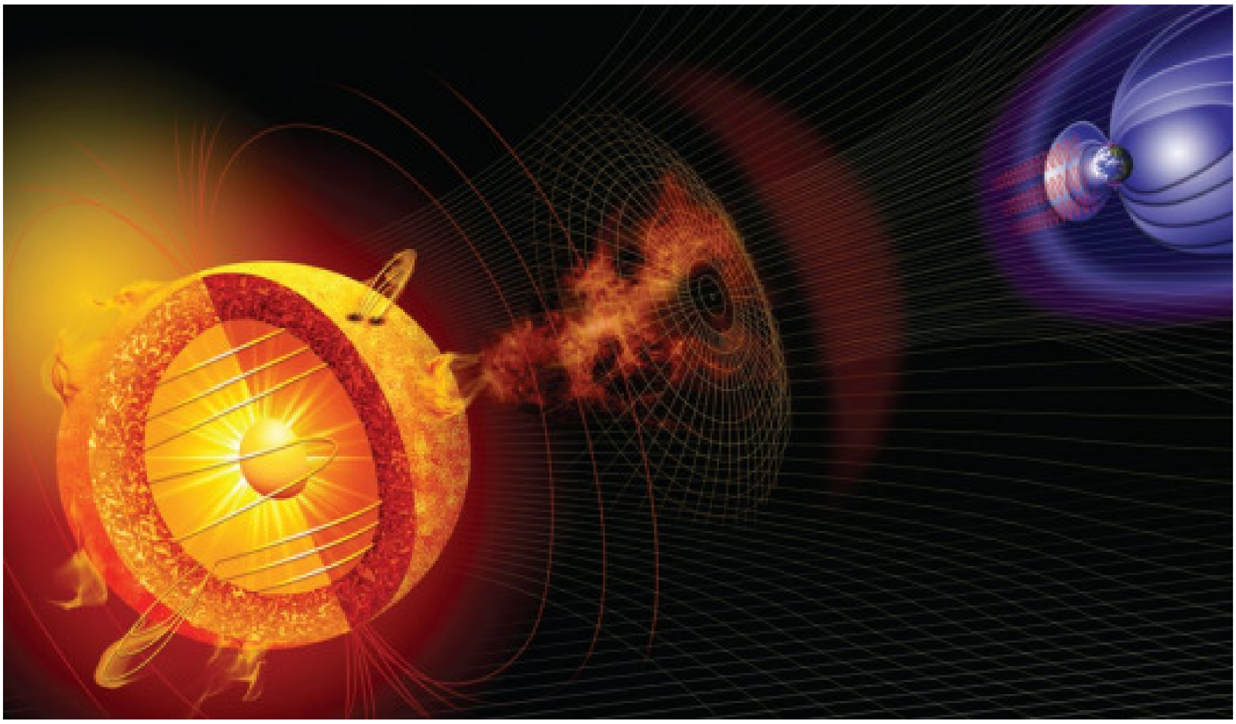


Abbildung 0

Teil 1 – Die Sonne bestimmt den Temperaturgang
Teil 2 – Die Sonne, der faszinierende Stern
Teil 3 – Sonnenflecken und ihre Ursachen
Teil 4 – Die Sonnenatmosphäre, Korona, Heliosphärische Stromschicht, interplanetares Magnetfeld
Teil 5 – Die variable Sonne
Teil 6 – Der Einfluss der Sonne auf unser Wetter/Klima
Teil 7 – Der Einfluss der Sonne auf die Wolkenbedeckung über Svensmark hinaus
Teil 8 – Zukünftige Temperaturentwicklung und deren Schwankungen

Teil 5 – Die variable Sonne

Wie bereits dargelegt, ist die magnetische Aktivität der Sonne proportional zur solaren Aktivität und damit zu der Leistungsabgabe, die die Sonne in das Weltall abgibt. So kann es nicht verwundern, dass die globalen Temperaturen auf der Erde, mit der magnetischen Sonnenaktivität einhergehen. Der übergeordnete magn. Sonnenzyklus, der sich direkten Beobachtungen, wie z.B. der Sonnenflecken entzieht, ist der bereits genannte de Vries/Suess-Zyklus, der sich anhand radioaktiver Isotope aus ^{14}C rekonstruieren lässt.

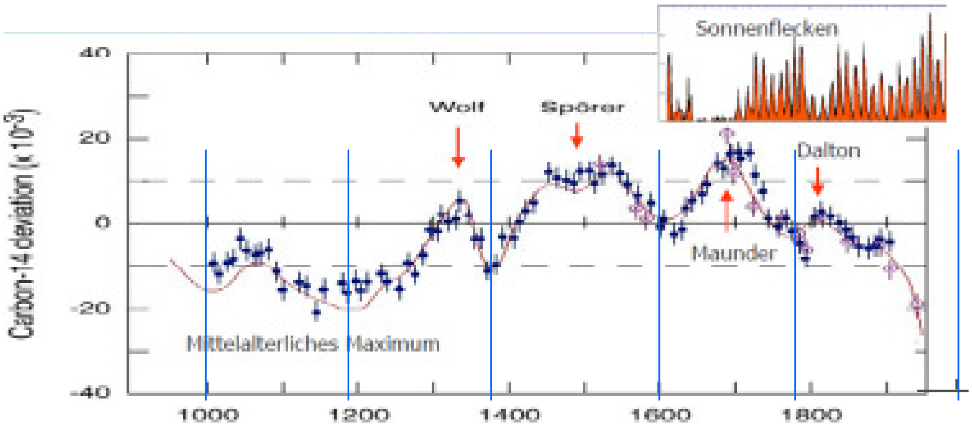


Abbildung 113 (Quelle: Max-Planck-Institut für Aeronomie Katlenburg-Lindau) zeigt die aus Baumringen gewonnenen ^{14}C-Daten. Je geringer die Sonnenaktivität, desto höher ist die kosmische Strahlung, die den Isotopengehalt bestimmt (Svensmark). Die kleine Abbildung zeigt die Sonnenfleckenzahlen der letzten 400 Jahre. Während diese keine direkten Übereinstimmungen mit den Min. und Max. des ^{14}C zeigt, lässt sich darin eine eigene Periodizität von ca. 200 Jahren erkennen (blaue Linien). Diese Periodizität wird dem im Mittel 208-jährigen de Vries/Suess-Zyklus der Sonne zugeordnet, der zu Beginn des 21.Jahrhunderts, als die Erdtemperaturen ihr Maximum erreichten, sein Aktivitätsmaximum (in 2002/2003) hatte. Die Sonne also ungewöhnlich aktiv war.

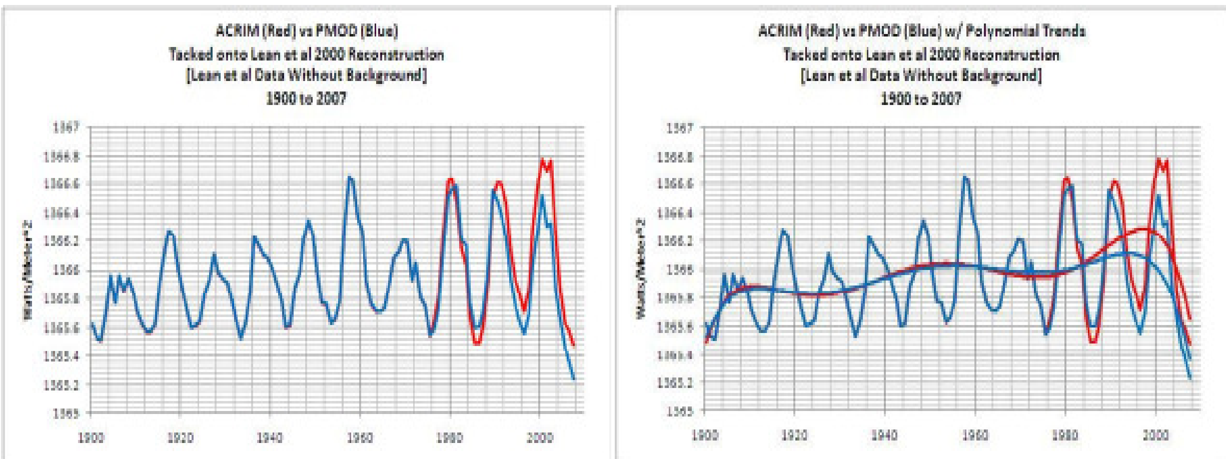


Abbildung 114 (Quelle: http://bobtisdale.blogspot.com/2008/08/reference-graphs-total-solar-irradiance.html) zeigt die PMOD-TSI-Kurve von 1900 - 2007 (blau, vor 1980 rekonstruiert) und in rot die Satelliten-ACRIM-TSI-Kurve. Deutlich ist erkennbar, dass die solare Aktivität zum ausgehenden 20. Jahrhundert deutlich ansteigt und ihr Maximum erreicht. Dies wird noch mehr in der Abbildung rechts deutlich, wird jeweils der polynomische Trend angelegt. Anzumerken ist noch, dass der 23. Zyklus aufgrund der anderen Messcharakteristik von ACRIM III gegenüber ACRIM I im Vergleich zu seinen beiden Vorgängerzyklen gedämpft ist, also, würde auf ACRIM I normiert, nochmals höher ausfiele.

Die von Satelliten direkt gemessene solare Stärke im Schwabe-Zyklus zeigt, dass zu Beginn des 21. Jahrhunderts das solare Aktivitätsmaximum liegt. Da die magnetische Feldstärke nach

folgender Formel in direkter Abhängigkeit zum Strom steht und damit das Interplanetarische Magnetfeld von der Stärke der HCS abhängt, liegt es nahe, die HCS als weiteren Beleg für das solare Maximum zu Beginn des 21. Jahrhunderts heran zu ziehen.

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot I \cdot \frac{n}{l} \qquad B = \mu_0 \cdot I \cdot \frac{1}{l}$$

Die magnetische Feldstärke in Tesla (rechts für Vakuum, μ_r = 1) ist direkt proportional zu dem inneliegenden Strom (μ_0 ist die magnetische Feldkonstante, eine Naturkonstante).

Die folgende Abbildung, die sehr den Sonnenaktivitätszyklen im Schwabe-Zyklus gleicht, zeigt das HCS im Zeitraum von 1976 - 2009. Berechnet wird die Kurve aus den Datenreihen:

- des Sonnenpolarfeldes
- des zonalen magnetischen Flusses über drei Sonnenzyklen und
- der solaren Dipolkomponenten, Quelle: (http://wso.stanford.edu/)

Der daraus ermittelte zeitabhängige Wert trägt den Namen “HCS Tilt Angle“ (folgende Abbildung).

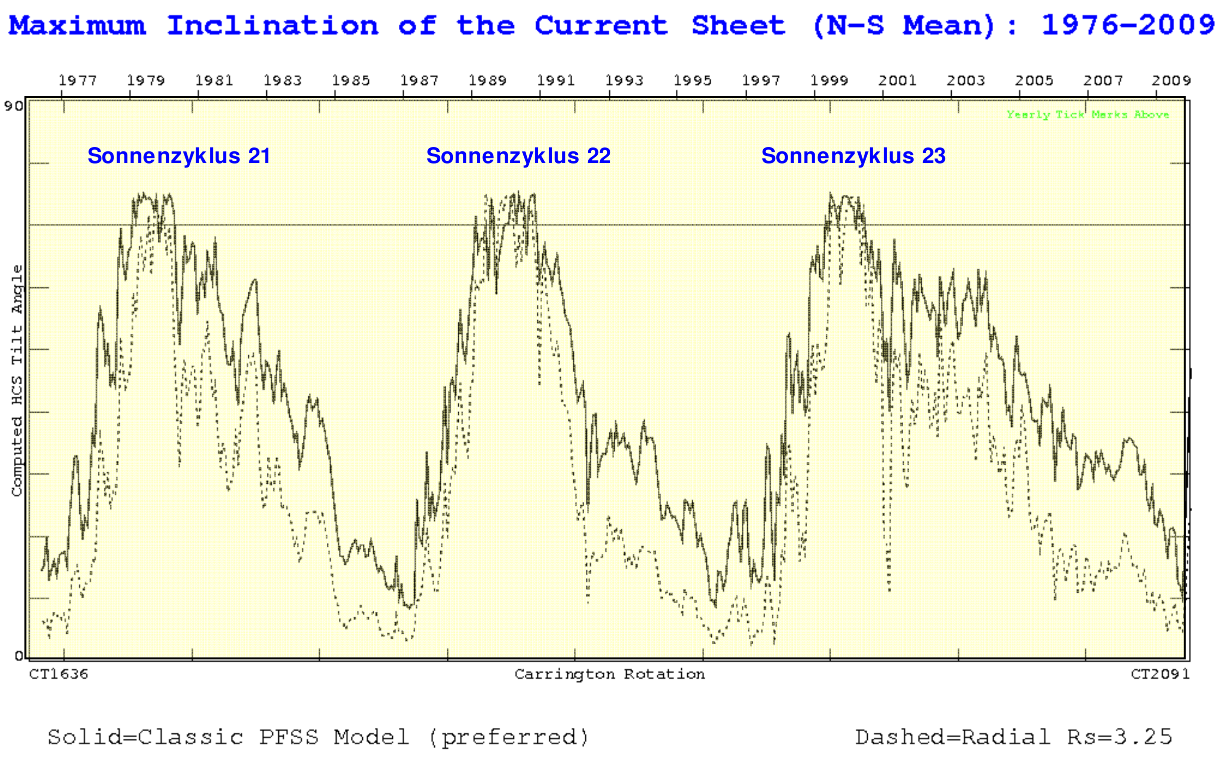


Abbildung 115 (Quelle: ”Analysis of the heliospheric current sheet at Earth's orbit and model comparisons”, Lepping, R. P.; Szabo, A.; Peredo, M.; Hoeksema, T., NASA Goddard Space Flight Center, International Solar Wind 8 Conference, p. 95, http://wso.stanford.edu/gifs/Tilts.gif) zeigt die Lage der Heliosphärischen Stromschicht der Sonne (Heliospheric Current Sheet) während der Sonnenzyklen 21 - 23 anhand zweier Analysemethoden, wobei angegeben wird, dass die Radialdaten möglicherweise genauer sind. Dies ist möglicherweise eine falsche Einschätzung der Fachleute in Stanford, wie die folgenden Abschnitte zeigen.

Zeitgleich mit dem Maximum im de Vries/Suess-Zyklus ist im 23. Sonnenzyklus die Heliosphärische Stromschicht am stärksten – Flächenintegral ergibt den größten Wert, was mit einer andauernden starken Sonnenaktivität zusammenhängt, die einen entsprechend starken Stromfluss auslöst. Somit ist die o.g. Abbildung der Stanfort University ein unmittelbares Maß für die solare Aktivität, was sich auch bei der kosmischen Strahlung (CR) wieder findet.

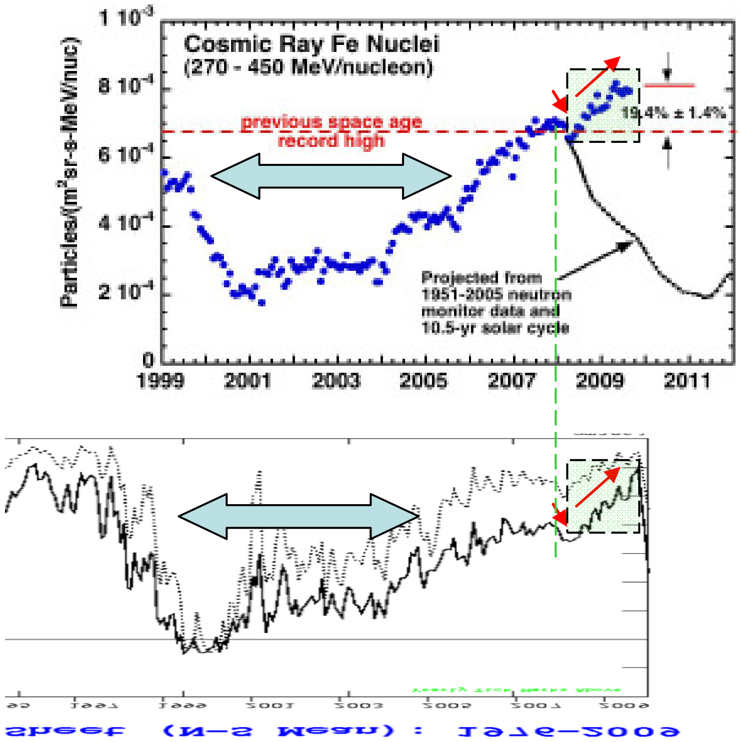


Abbildung 116 ganz oben (Quelle: Watts up with that, 29. September 2009) zeigt den Verlauf der kosmischen Strahlung 1999 - September 2009 und als besonderes Merkmal, die Meldung der NASA, dass die kosmische Strahlung in 2009 um 19% zurückging. Die schwarz gepunktete Linie zeigt die aus den Neutronenmonitordaten von 1951 - 2005 vorhergesagte Kurve, die ganz offensichtlich falsch ist. Die Abbildung darunter ist die gespiegelte HCS im 23. Sonnenzyklus aus Abbildung 108. Beide Charts sind zeitlich zueinander ausgerichtet. Die zeitliche Breite des HCS passt sehr gut zur zeitlichen Breite der CR (Blockpfeile). Zu Beginn 2008 fällt die CR leicht ab (kleiner roter Pfeil), was sich ebenfalls bei der HCS wiederfindet und insbesondere ist der 19%-Anstieg der CR exakt im Classic PFSS Model der HCS wieder zu finden (grüne Rechtecke).

Ein weiterer Beleg für die starke Sonnenaktivität und die Richtigkeit des klassischen Models der HCS und damit der Sonnenaktivität, sind die Koronalen Massenauswürfe oder Coronal Mass Ejections (CME). Der stärkste bekannte CME ereignete sich am 01.09.1859 und wurde durch den britischen Astronom Richard Carrington beobachtet. CME´s können auf der Erde großen Schaden anrichten. Bis zu 10 Milliarden Tonnen Plasma werden ins All geschleudert und treffen mitunter die Erde. Ist die Polarisation einer solchen Plasmawolke umgekehrt zur Erdpolarisation, kommt es zur Rekonnektion (Verbindung) der Magnetfelder. Elektrische Teilchen dringen dann bis tief in die Erdatmosphäre vor und induzieren Ströme, z.B. in Leitungsnetzen.

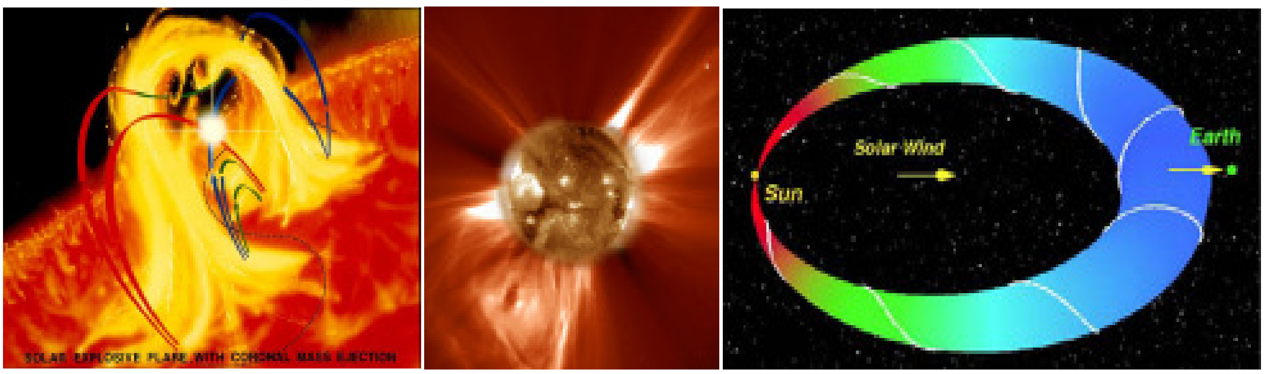


Abbildung 117: CME´s (bis zu 100 Milliarden Tonnen schwere Plasmawolken) entstehen durch Rekonnektion von magnetischen Feldlinien (links). Oft geht ihnen ein Sonnenflair voraus, wie beim stärksten je beobachteten CME im Jahre 1859. Dabei werden große Mengen Plasma ins

All geschleudert (Mitte). CME´s werden stets durch magnetische Wolken, die sich im interplanetarem Raum ausbreiten, begleitet (Abbildung rechts). Quelle: NASA. Die magnetische Struktur einer solchen Wolke ist kreisförmig, wie Untersuchungen des Instituts für Weltraumforschung (IWF) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften in Graz ergaben.

Magnetische Rekonnektion

Eine magnetische Rekonnektion tritt ein, wenn verdrillte, antiparallele Magnetfeldlinien sich berühren, und sich Magnetfeldlinien mit gegensinniger Polung verbinden. Dabei entsteht in einer dünnen Grenzschicht ein elektrischer Strom, der einen Teil der im Magnetfeld gespeicherten Energie in Wärme umsetzt. In dieser Grenzschicht kommt es zu einer gegenseitigen Löschung der entgegen gerichteten Magnetfeldlinien, wobei sich die Magnetfeldlinien in der Stromschicht verbinden und neu ordnen. Dass in diesen Magnetfeldlinien gefangene elektrisch leitende Plasma entfernt sich schnell vom Ort der Rekonnektion und wird in beide Richtungen aus der Grenzschicht beschleunigt.

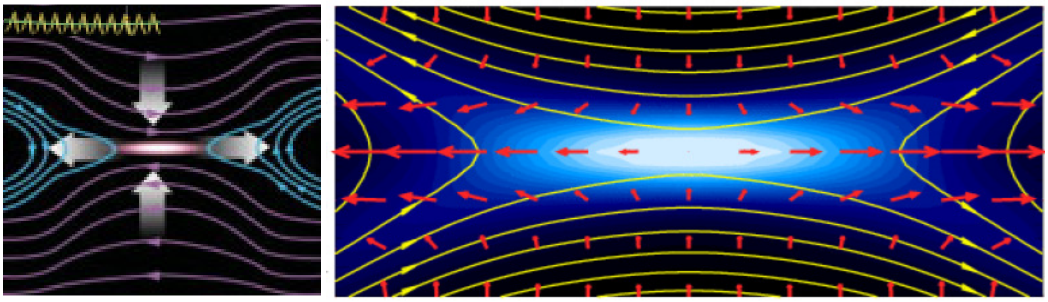


Abbildung 118: In einer Grenzschicht kommt es zwischen zwei antiparallelen Magnetfeldern zu einer gegenseitigen Löschung der Magnetfeldlinien. Magnetfeldlinien bilden sich dabei neu und vereinen die vorher getrennten Magnetfelder, wobei in die Grenzschicht benachbarte Magnetfeldlinien und Plasma nachdringen. Die abgetrennten Magnetfeldbündel, mit dem eingeschlossenen Plasma, dass sich spiralförmig um die Magnetfeldlinien bewegt (links oben), entfernen sich dabei schnell vom Ort der Rekonnektion (links). Die sich neu verbindenden Feldlinien bewirken eine Kraftkomponente entlang der Grenzschicht, die das Plasma beschleunigt (rechts). Die roten Pfeile geben die Plasmageschwindigkeit sowohl des ausgestoßenen Plasma, als auch des nachfließenden Plasma wieder. Die im Magnetfeld gespeicherte Energie wird dabei in thermische Energie des Plasma und Beschleunigung der Teilchen umgesetzt.

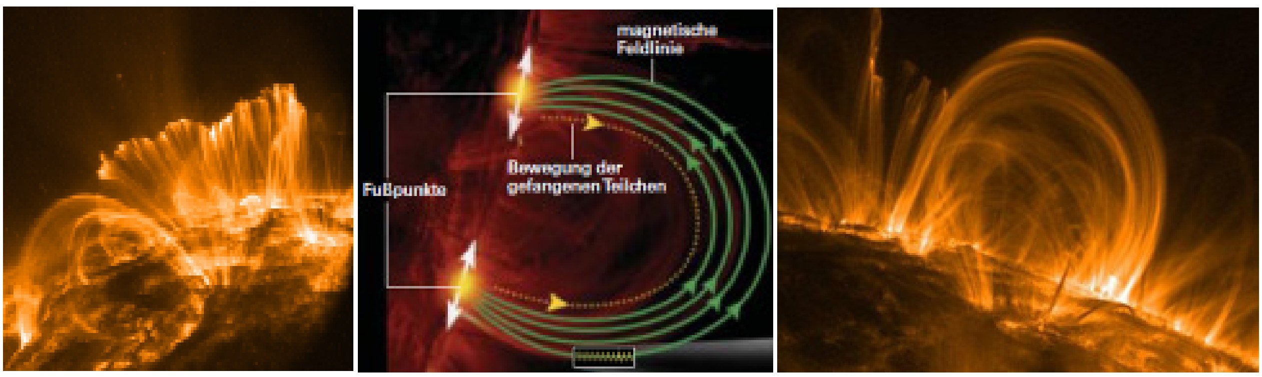


Abbildung 119a: Auf der Sonne wird das ionisierte Plasma entlang der Magnetfeldlinien gefangen, wobei die Plasmateilchen auf Spiralbahnen relativ frei um die magnetischen Feldlinien kreisen (Abbildung Mitte). Durch die Hitze der Sonnenoberfläche sind die Fußpunkte der Magnetfelder, z.B. Sonnenflecken, in ständiger Bewegung. Bewegen sich nun Felder aufeinander zu, so wird das darin gebundene Plasma abgebremst, bis sich deren Bewegung an den Fußpunkten umkehrt. Die Teilchen werden hin und her reflektiert, wodurch sich das Plasma weiter erhitzt und es zu einer Eruption kommt, wenn sich die Magnetfelder neu ordnen.

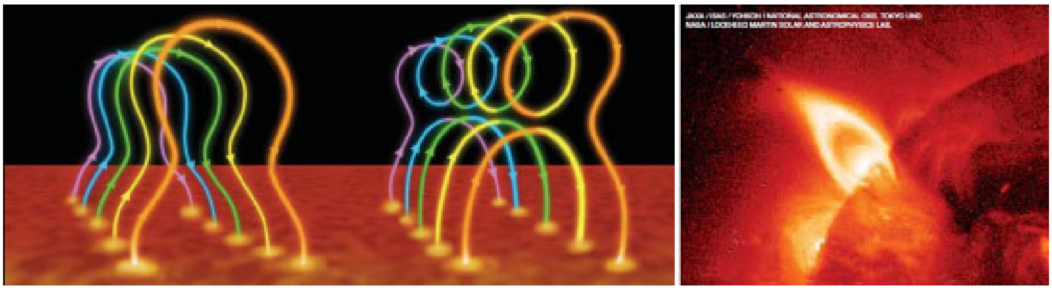


Abbildung 119b: Werden Magnetfeldbögen durch konvergierende Magnetfeldlinien und nachfließendes Plasma zusammengedrückt, kann es zu einer großräumigen Rekonnektion und Eruption (z.B. Flare) kommen, wodurch anschließend schraubenförmige Magnetfeldlinien über den neu gebildeten Magnetfeldlinien schweben. Durch magnetische Kräfte kann sich dieses Plasma lösen und einen koronalen Massenauswurf auslösen. Die rechte Abbildung (NASA) zeigt, wie Bögen gerade abgeschnürt werden und sich eine Spitze ausbildet.

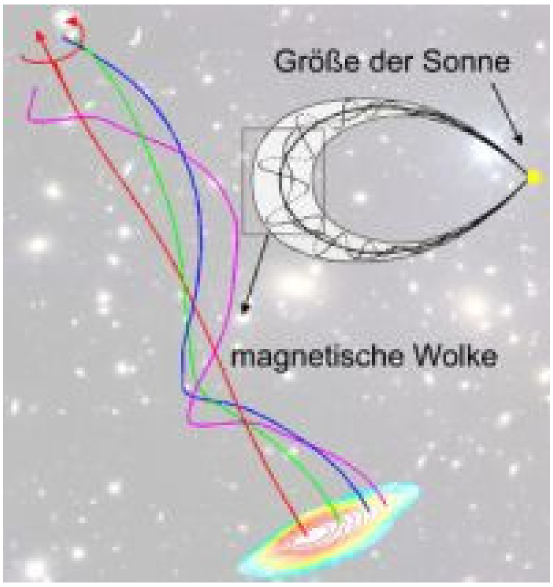


Abbildung 120: Eine magnetische Wolke kann man sich als Verdichtung des interplanetaren magnetischen Feldes vorstellen, die sich darin bewegt. Wie in der Abbildung links (Quelle: IWF Graz) zu sehen, breitet sie sich ellipsenförmig aus, wobei ihr Querschnitt kreisförmig ist. In der Wolke rotierenden die magnetischen und elektrischen Felder um die Längsachse des Torus. Die Polarität in der Wolke ist einem ständigen Wechsel unterzogen. Trifft sie auf das Magnetfeld der Erde, sind die Auswirkungen auf die Magnetos- und Atmosphäre am größten, wenn die Polarität der Wolke zur Erde negativ ist.

Magnetische Wolken sind die Kerne von CME´s, die sich im Sonnenwind ausbreiten, wobei die Elektronenfront der Ionenpartikel vorauseilt. Die CME-Ausbreitungsgeschwindigkeit kann Werte von bis zu 2.000 km/s erreichen (die der Elektronen, nahe Lichtgeschwindigkeit), wogegen der Sonnenwind, der aus aktiven Regionen stammt, lediglich Werte von 250 - 400 km/s erreicht.

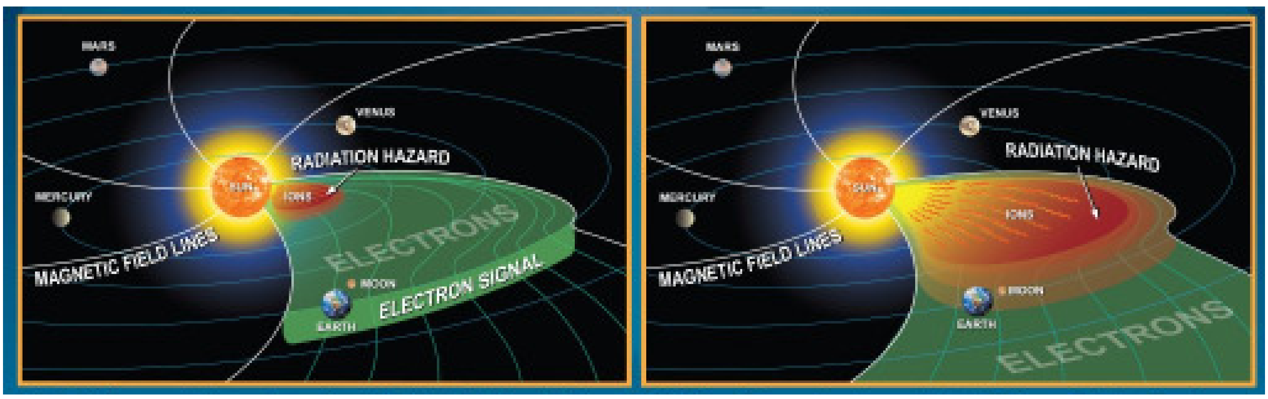


Abbildung 121 links zeigt die Elektronenfront, die einem CME-Ereignis vorauseilt und die Abbildung rechts, das Eintreffen des ionisierten Plasmas auf die Erde, ca. 10 Minuten später,

Quelle: NASA. Beide geladenen Teilchenarten folgen dem Verlauf der solaren Magnetfeldlinien. Solche Zusammenhänge werden zur besseren Vorhersage von Sonnenstürmen genutzt, um sensible, bzw. gefährdete elektrische Einrichtungen auf der Erde dann schützen, bzw. abschalten zu können, bevor das Ereignis diese direkt trifft.

Trifft ein CME auf das Magnetfeld der Erde, werden gewaltige Energiemengen feigesetzt, die sich optisch in Polarlichtern zeigen. Ein einziger Polarsturm setzt dabei bis zu 200 GW Leistung um, was der Leistung von etwa 80 Kernreaktoren entspricht. Aufgrund der erhöhten Elektronendichte in der Ionosphäre kommt es zu Störungen in der Rundfunkübertragung. Die durch die Ionenfront in der Atmosphäre ausgelösten Ströme sind so stark, dass die durch sie in Leitungsnetzen induzierten Ströme, Netze, wie Trafo- oder Relaisstationen zerstören. 1859 wurden durch die Ionenfront gar Brände in Schweden und den USA ausgelöst. In einigen europäischen Städten soll der Himmel die ganze Nacht über so hell gewesen sein, dass man auf der Straße Zeitung lesen konnte. Auf welchen solaren Ereignissen CME´s beruhen und welche physikalischen Gesetze hinter ihnen stehen, wusste die Wissenschaft indes 1859 noch nicht.

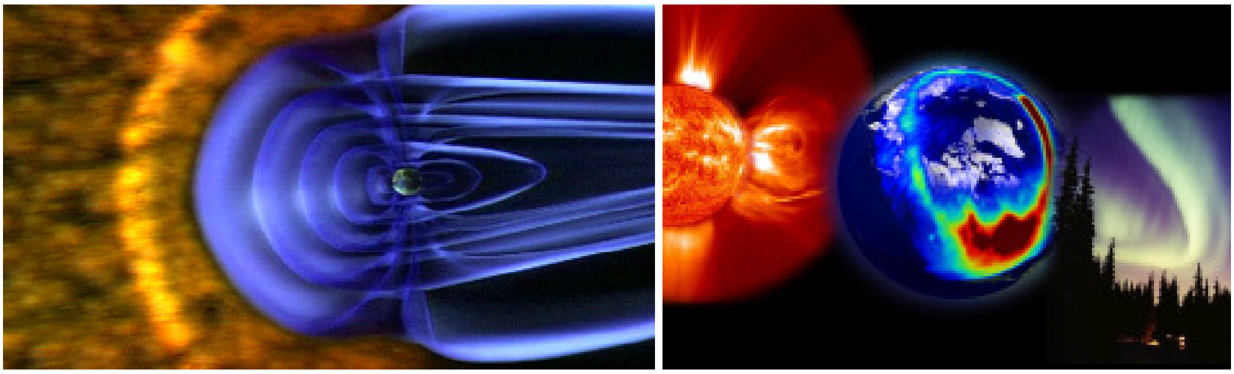


Abbildung 122: Ein koronaler Massenauswurf trifft auf das Magnetfeld der Erde (links). Das Erdmagnetfeld wird auf der sonnenzugewandten Seite stark zusammengedrückt und auf der Nachtseite stark gedehnt und aufgerissen. Durch die Rekonnektion des Erdmagnetfeldes und der magnetischen Wolke dringen geladene Partikel bis in tiefe Schichten der Erdatmosphäre und verursachen auch in tieferen Breiten Polarlichter (rechts).

Das Auftreten koronaler Massenauswürfe ist eng mit der Sonnenaktivität verbunden und an diese gekoppelt. Während im Minimum zum Anstieg des letzten Sonnenzyklus im Jahr 1996 lediglich 202 Ereignisse beobachtet wurden, stieg deren Anzahl im Maximum in den Jahren 2000, 2001 und 2002 auf 1547, 1417 und 1625 Ereignisse an. Während in den Jahren 2003 (1106 Ereignisse) und 2004 (1060 Ereignisse) ihr Auftreten zurückging, zog die Anzahl der CME in 2005 unverhofft wieder auf 1185 Ereignisse an, obwohl der Schwabe-Zyklus bereits fast sein Minimum erreicht hatte. Dies veranlasste den NASA-Sonnenforscher David Hathaway zu seiner Aussage „Das solare Minimum explodiert. Das solare Minimum sieht seltsamerweise aus, wie ein solares Maximum.“ Seitdem ging die Zahl der CME deutlich zurück. Der Rückgang wurde erst mit Beginn des 24. Sonnenzyklus in 2009 gestoppt. Datenquelle: Solar Cycle Variation of Real CME Latitudes, Wenbin Song et al., The Astrophysical Journal, 667: L101–L104, 20. September 2007.

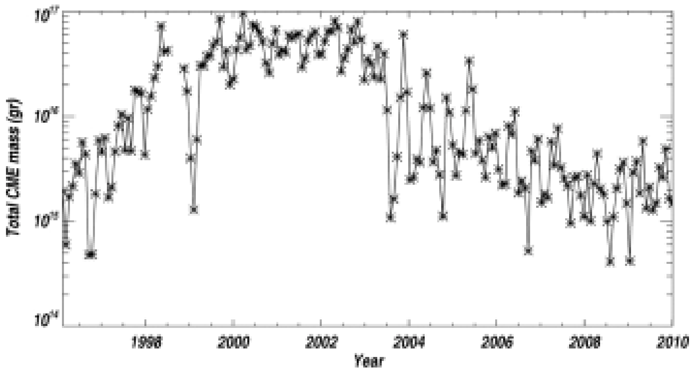


Abbildung 123a: Da CME erst 1971 durch Wissenschaftler der Space Science Division (SSD) entdeckt wurden und sich in der Gesamtheit nur aus dem Weltraum beobachten lassen, liegen kontinuierliche Daten erst für den 23. Sonnenzyklus vor. Abbildung 117 zeigt die Stärke der CME (Total CME mass) von 1996 - 2010 (Quelle: Astrophysical Journal vom 16. November 2010) im Zeitraum von 1996 - 2010. Die Daten stammen von LASCO (**L**arge **A**ngle **S**pectrometric **Co**ronagraph).

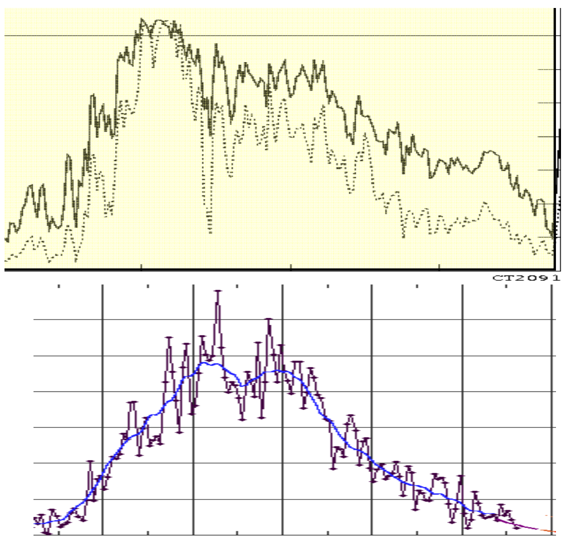


Abbildung 123b: Wird die schwarze Linie der HCS (Abbildung links oben) mit dem tatsächlichen Auftreten der CME verglichen, ist festzustellen, dass beide weitgehend übereinstimmen, so dass bewiesen ist, dass die Fachleute von Stanford in ihrer Einschätzung falsch liegen. Weiter zeigen beide Abbildungen, dass diese die tatsächliche Sonnenaktivität wahrheitsgetreuer wiedergeben, als dies die Anzahl der Sonnenflecken vermag (Abbildung links unten), die nicht mit der tatsächlichen Sonnenaktivität übereinstimmt.

Ein weiterer Parameter, der die Sonnenaktivität genauer abbildet, als es die Anzahl der Sonnenflecken vermag ist die Röntgenaktivität der Sonne.

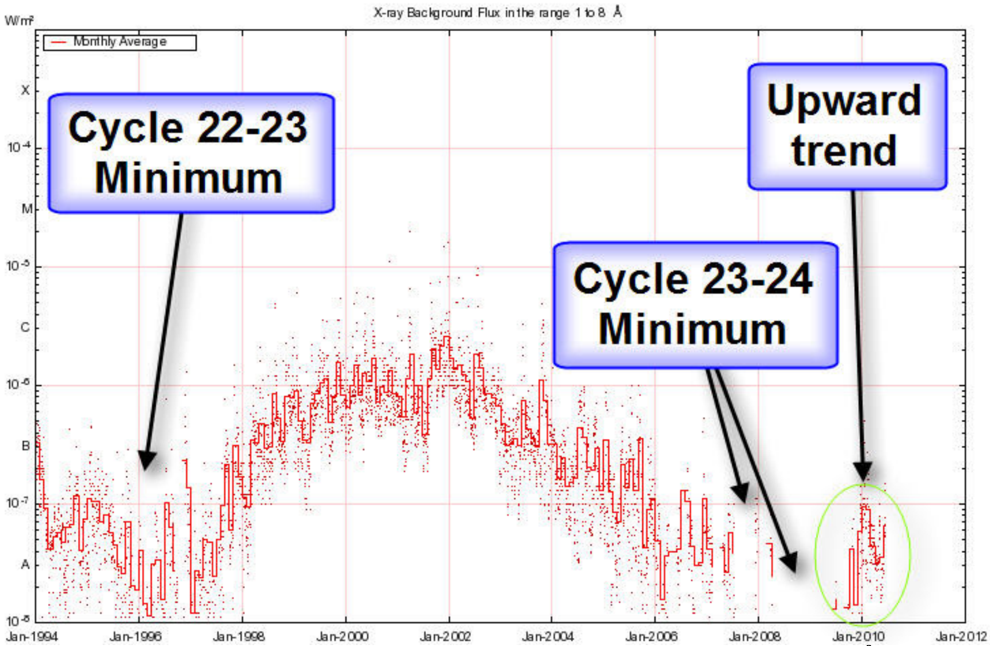


Abbildung 124: zeigt die solare Röntgenaktivität im Messbereich von 1 - 8Å (0,1 - 0,8 nm) im Zeitraum von Januar 1994 - Jan 2010, Quelle: (http://prop.hfradio.org/). Sie stimmt sowohl mit der HCS, als auch mit der CME überein. Außerdem zeichnen sich Beginn und Ende eines Sonnenzyklus viel schärfer ab. Wie die Abbildung weiter zeigt, begann die Aktivität im 24. Sonnenzyklus erst gegen Ende 2009 (September).

Dass, was wir als dynamische Energieabgabe der Sonne erleben, stammt aus magnetischen Prozessen, die in der Konvektionszone der Sonne entstehen. Daher macht es wenig Sinn, Sonnenflecken, die lediglich einen optischen Eindruck vermitteln und aus der Frühzeit der Sonnenbeobachtung stammen, als Aussage der Sonnenaktivität heranzuziehen, wenn die solare magnetische Aktivität unmittelbar gemessen werden kann.

Das Gleiche gilt auch für die Helligkeit der Sonne. Solche Untersuchungen, wie sie von Henk Spruit vom Max Planck Institut für Astrophysik in Garching vorgenommen wurden und von Laien wie Prof. Rahmstorf als Argument für eine rückläufige solare Aktivität der letzten Jahrzehnte verwendet werden, sind denn auch lediglich als populärwissenschaftlich einzustufen, wie der bereits erwähnte Bericht des MPS ("SUNRISE enthüllt magnetische Grundbausteine der Sonne") bestätigen.

Sonnenflecken als Aktivitätsparameter stammen denn auch aus einer Zeit, als keine anderen Beobachtungen möglich waren. Der TSI ist als Maßstab der solaren Aktivität ungeeignet, weil nur ein kleiner Energiebereich (200 - 2.000 nm) der Sonne aufgezeichnet wird. Insofern bilden HCS, CME und Röntgenaktivität die exakteren Parameter der solaren Aktivität. Dies belegt auch die folgende Abbildung.

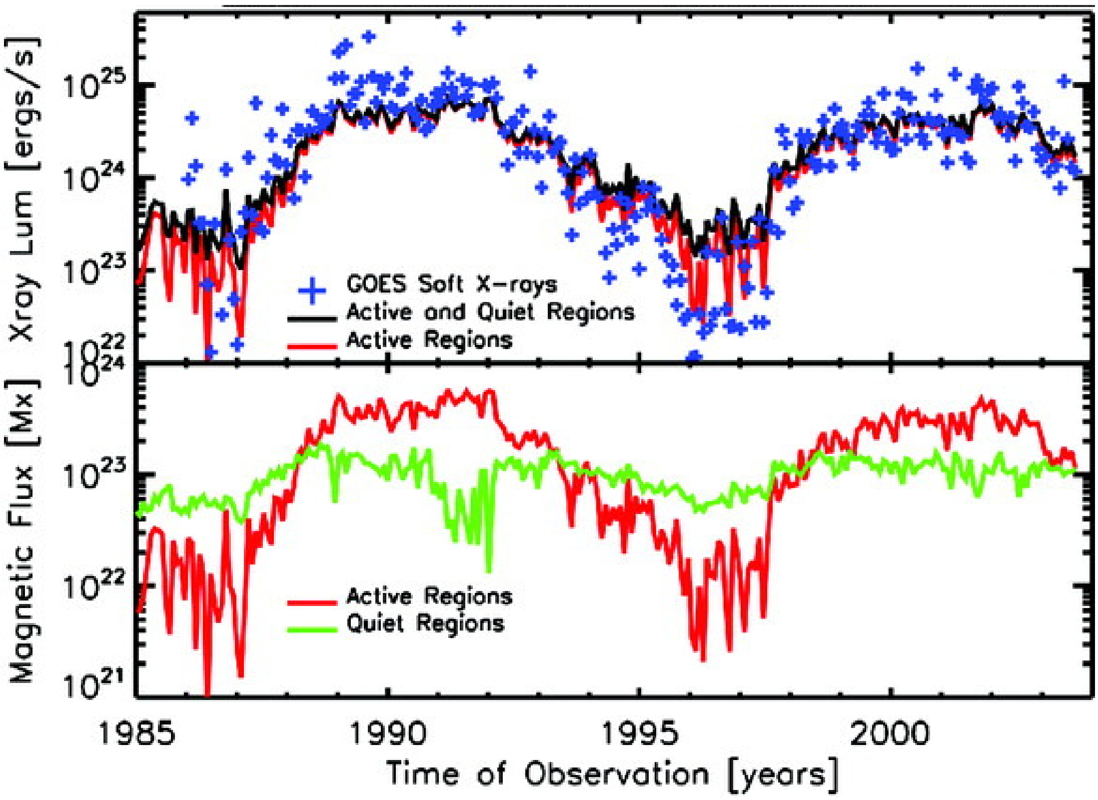


Abbildung 125: (Quelle: "Relationship between Solar Wind and Coronal Heating: Scaling Laws from Solar X-Rays", The Astrophysical Journal, 642:1173-1176, 10. Mai 2006) zeigt unten das variable Magnetfeld der Sonne, unterteilt aus sog. aktiven und ruhigen Regionen im Zeitraum von 1985 - 2004. Dabei fällt auf, dass das Minima zwischen 22. und 23. Sonnenzyklus gegenüber dem vorherigen angehoben ist, was darauf hindeutet, dass die Sonne zum ausgehenden 20. Jahrhundert besonders aktiv ist, der 23. Zyklus deutlich schneller ansteigt, ein breiteres Maximum aufweist und die „ruhigen Regionen" mehr Aktivität zeigen. All dies spricht bereits für einen stärkeren Zyklus 23, als dieser im TSI, z.B. von der PMOD wiedergegeben wird. In der Abbildung darüber ist zur gesamten solaren magnetischen Aktivität (schwarz), die Röntgenaktivität (blau) aufgetragen. Röntgenaktivität und magnetische Aktivität stimmen im Verlauf überein.

Das gleiche Bild der Sonnenaktivität zeichnen Wilson & Hathaway in ihrer Arbeit "On the Relationship Between Solar Wind Speed, Geomagnetic Activity, and the Solar Cycle Using Annual Values", NASA (Marshall Space Flight Center). Dort ist die folgende Abbildung des geomagnetischen aa-Index abgebildet.

Der **aa-Index** ist der am längsten gemessene geomagnetische Index und wird aus Werten von zwei Stationen, je eine in England (Greenwich) und in Australien (Adelaide), gebildet. Durch das Zusammentreffen von Sonnen- und Erdmagnetfeld kommt es zu Neuverbindungen der Magnetfeldlinien, wodurch Energie und geladene Teilchen in die Geomagnetsphäre eindringen. Die eindringenden Partikel des Sonnenwindes führen zu Störungen im Geomagnetfeld, welche über den aa-Index erfasst werden. Die Störungen im Geomagnetfeld sind dabei äquivalent zur Stärke des interplanetaren Magnetfeldes, also dem Sonnenwind. Der aa-Index wurde zwischenzeitlich durch den **IHV-Index** (**I**nter-**H**our **V**ariability-Index) ersetzt.

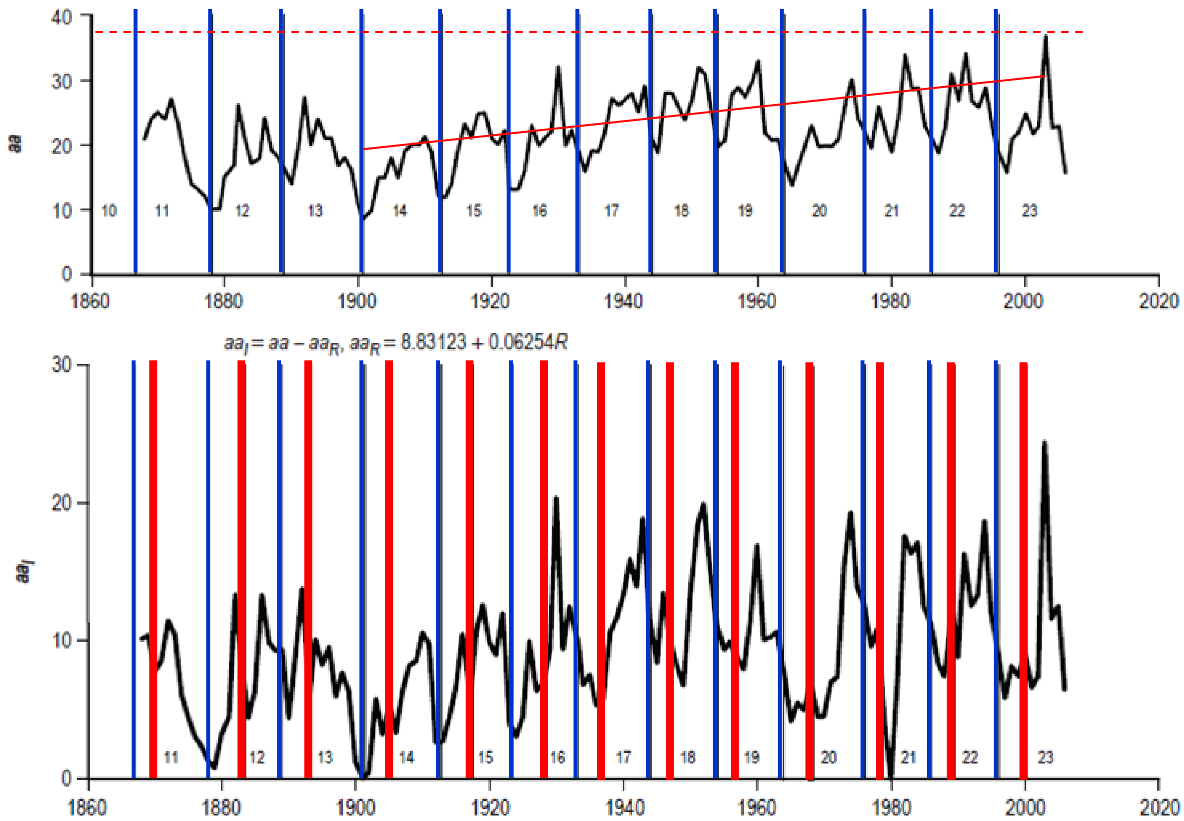


Abbildung 126 oben zeigt den aa-Index von 1868 - 2006. Die blauen Balken geben das Sonnenminimum der Sonnenzyklen an. Deutlich ist zu sehen, dass die geomagnetische Aktivität ab 1900 zunimmt und ihr Maximum im 23. Schwabe-Zyklus um 2003 hat. Die Abbildung darunter zeigt den geomagnetischen aa-Index in Verbindung der Sonnenfleckenzahl R für die Jahre 1868 - 2006. Die blauen Balken zeigen das jeweilige solare Minimum und die roten Balken das jeweilige solare Maximum. Auch hier ist ab 1900 eine deutliche Steigerung der Sonnenaktivität zu verzeichnen und im 23. Schwabe-Zyklus um 2003 die Sonnenaktivität am höchsten.

Im ihrem Bericht weisen Wilson & Hathaway darauf hin, dass die magnetische Aktivität jeweils nach dem Zyklusmaximum, wie es anhand der Fleckentätigkeit ermittelt wird, ihr Maximum erreicht. Ausnahme Zyklus 11 - 13. Eine Erklärung dafür geben die Autoren nicht an, so dass diese hier gegeben wird. Bis 1900 (13. Zyklus) fiel der Hauptsonnenzyklus, der im Mittel 208-jährige de Vries/Suess-Zyklus. Seit dem Jahr 1900 hatte er sein Minimum verlassen und stieg wieder an, bis er um das Jahr 2003 sein Maximum erreichte (in der Literatur wird teilweise auch das Jahr 2002 angegeben). D.h. im Anstieg des Hauptsonnenzyklus ist die magnetische Aktivität nach dem Fleckenmaximum und im Abstieg vorzugsweise vor dem Fleckenmaximum.

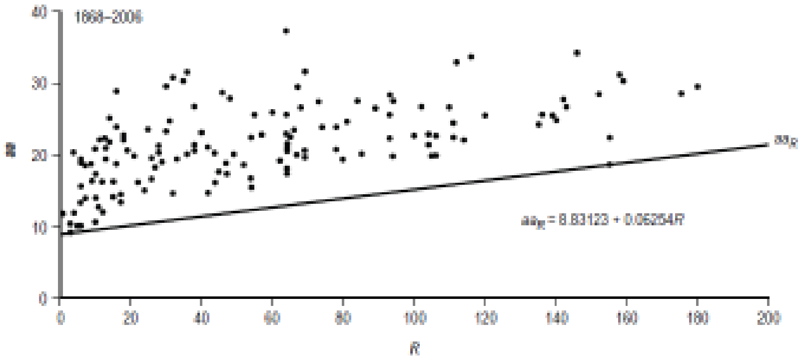


Abbildung 127: Nebenstehend noch die Relation des aa-Index zum Sonnenflecken-Index R, der die Beziehung aa_R ergibt. Eine solche Korrektur ($aa – aa_R$) wird gewählt, um beide Beziehungen in Relation zu bringen und dadurch eine reellere Aussage über die solare Aktivität zu erzielen.

Dass Stanford mit seiner Einschätzung zur HCS falsch liegt und die HCS und damit die solare Aktivität höher lag, als in den voran gegangenen Sonnenzyklen, bestätigen weiter die Messungen der Sonnensonde Ulysses, wie die folgende Abbildung zeigt.

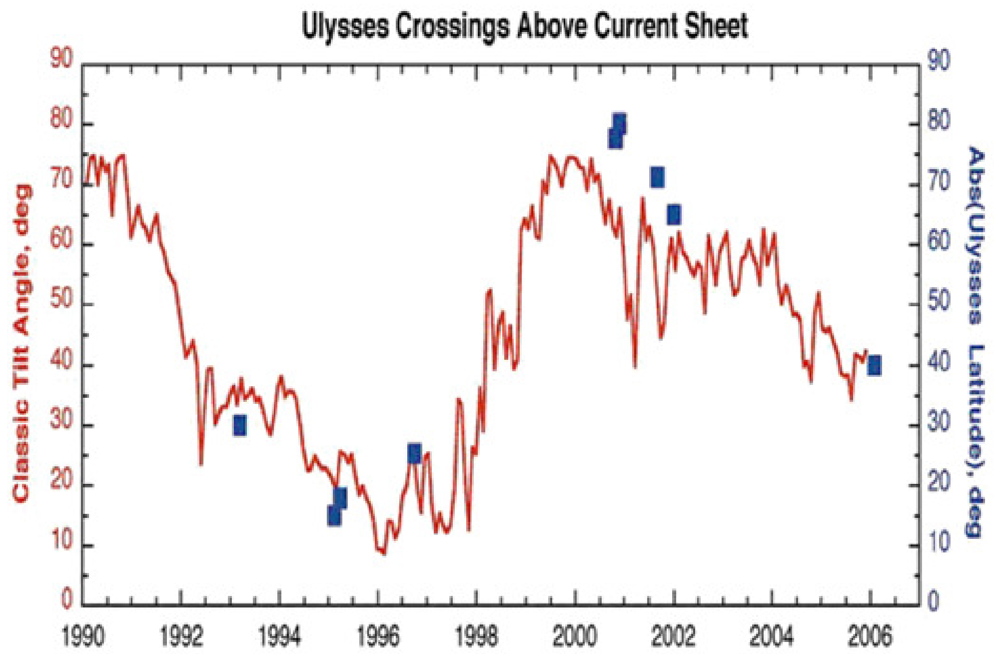


Abbildung 128: (Quelle: Prof. Balogh, Prof. Lanzerotti, Dr. Suess, "The Heliosphere through the Solar Activity Cycle") zeigt die HCS nach dem klassischen Modell (rot) und dazu die gemessenen Werte beim Durchgang von Ulysses durch die HCS (blaue Rechtecke). Nach der Jahrtausendwende war die gemessene solare Aktivität nochmals höher, wie sie im klassischen Modell ausgewiesen wird.

Zu der direkt gemessenen Sonnenaktivität durch Satelliten, die den 23. Sonnenzyklus als den stärksten im Betrachtungszeitraum ausweisen und damit die verstärkte solare Aktivität im Hauptsonnenzyklus in 2003 bestätigen, untermauert die folgende Abbildung.

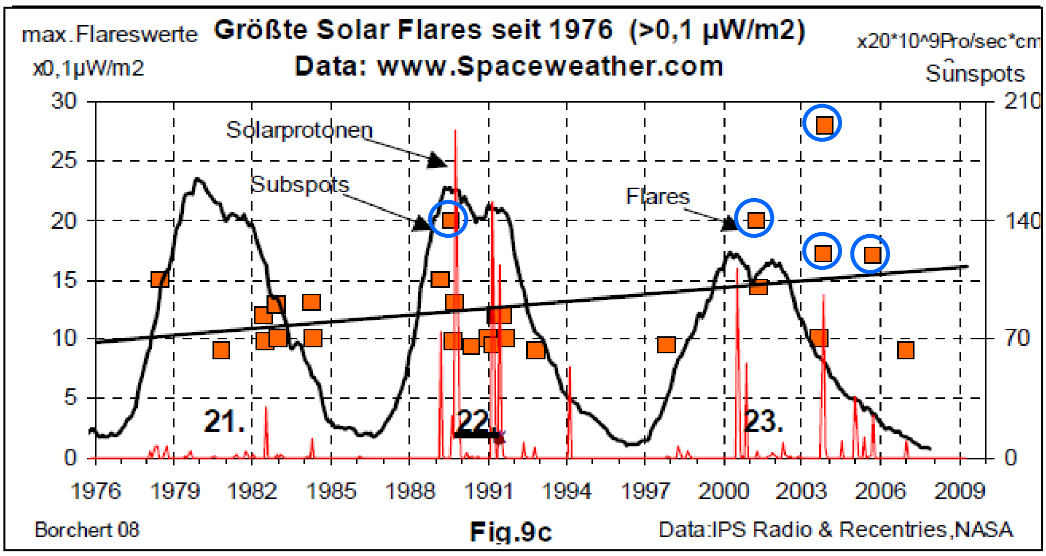


Abbildung 129: (Quelle: "Die aktuelle Wärmeperiode endet", Dr. Borchert) zeigt Anzahl und Stärke der Sonnenflares, die mit solaren Eruptionen einhergehen. Während die zeitliche Häufung gestreckt ist, nimmt der absolute Wert zu und erreicht in 2003, dem Maximum im de Vries/Suess-Zyklus, ebenfalls Maximum. Die schwarze Gerade zeigt deren Anstieg, wogegen die Sonnenfleckenzahl ein falsches Bild der solaren Aktivität wiedergibt. Die blauen Kreise zeigen besonders starke Flares, die sich überwiegend im 23. Zyklus häufen.

Alle gezeigten Untersuchungen und Messungen belegen, dass die solare Aktivität im 23. Sonnenzyklus die höchste der vergangenen Jahrzehnte war, bis 2002/2003 ihr Maximum

erreichte und die Sonnenaktivität parallel, auch für die letzten 30 und mehr Jahre, zur Temperaturentwicklung verläuft und nicht von dieser abgekoppelt ist. Dass die Sonnenfleckenzahl mitunter ein falsches Bild der Sonnenaktivität, insbesondere für Vergleiche abgibt, zeigen ebenfalls die folgenden Abbildungen.

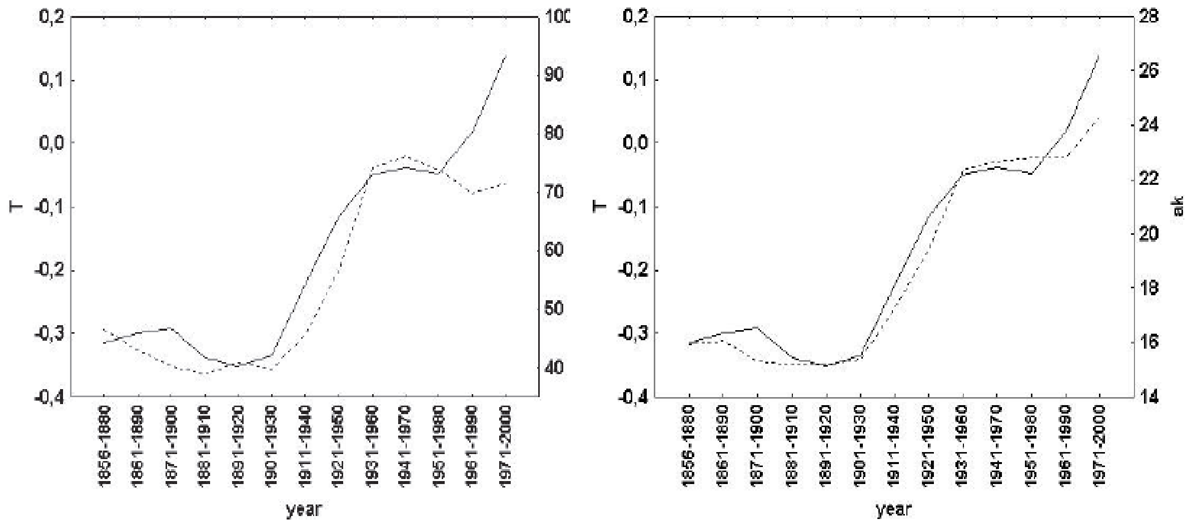


Abbildung 130 links zeigt die Sonnenfleckenzahl (gepunktete Linie) und im Vergleich der Temperaturverlauf vom 1856 - 2000. Während bis ca. 1980 Temperatur und Sonnenfleckenzahl parallel verlaufen, beginnen sich ab ca. 1980 die Temperaturen zu entkoppeln, was nach der Theorie des Treibhauseffektes dem vermehrten Eintrag von sog. Treibhausgasen zugeschrieben wird, was, wie gesehen, blanker Unsinn ist. Die Abbildung rechts zeigt dagegen den ak-Index der geomagnetischen Aktivität, der die Einflüsse der solaren magnetischen Aktivität wieder gibt. Temperatur und Sonnenaktivität laufen synchron, Quelle: Georgieva et al. "Once again about global warming and solar activity", Journal of the Italian Astronomical Society, Vol. 76, 969.

Die starke Sonnenaktivität zum ausgehenden 20. Jahrhundert, zeigt die Arbeit von Russell und T. Mulligan (Institute of Geophysics and Planetary Physics, University of California) "The 22-year Variation of Geomagnetic Activity: Implications for the Polar Magnetic Field of the Sun", Geophysical Research Letters, 22, 3287-3288, 1995. Dort ist die folgende Abbildung zu sehen.

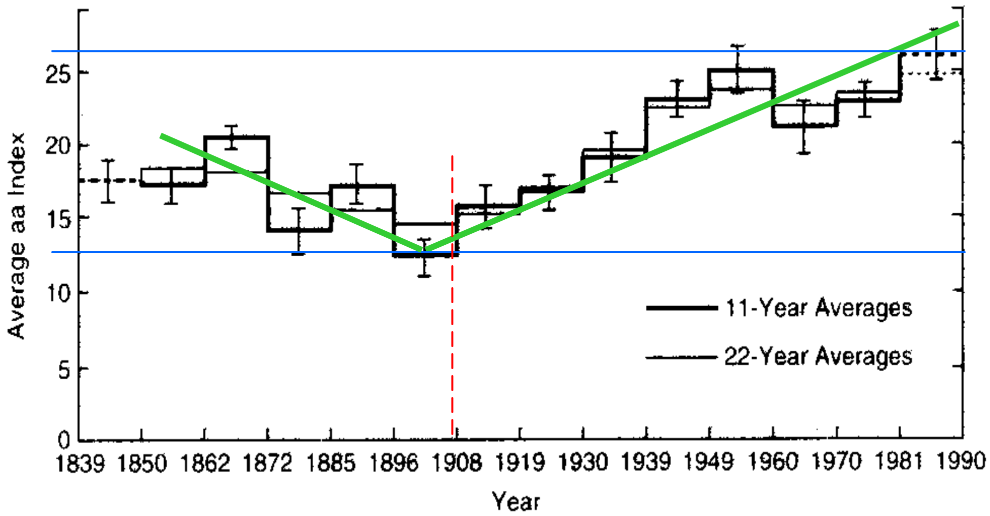


Abbildung 131 zeigt den geomagnetischen aa-Index von 1850 - 1990. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts beginnt die magnetische Aktivität der Sonne wieder anzusteigen (grüne Trendlinie) und erreicht zum ausgehenden 20. Jahrhundert ihren Höhepunkt. Dabei steigt der aa-Index um 100% (blaue waagerechte Linien), was Rückschlüsse auf den starken Anstieg der solaren Aktivität zulässt. Der Anstieg verläuft synchron zum Hauptsonnenzyklus, den im Mittel 208-jährigen de Vries/Suess-Zyklus.

Zum Abschluss des Kapitels ein Vergleich, wie genau die unterschiedlichen solaren Parameter mit das Interplanetarische Magnetfeld und damit den Part, der die Erde trifft, wiedergeben.

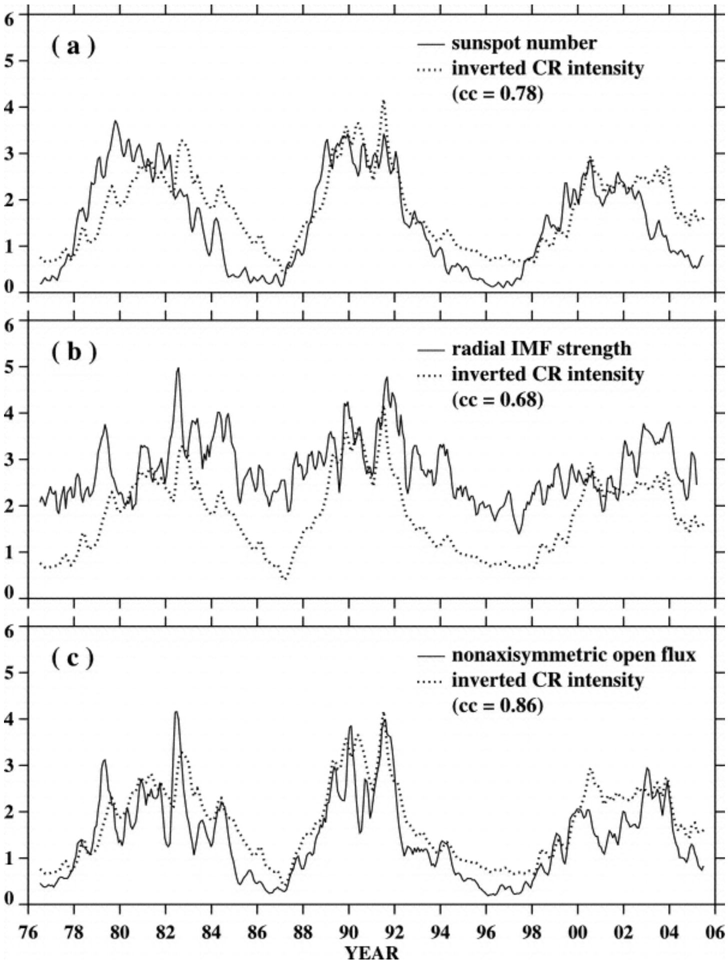


Abbildung 132a) zeigt die reziproke kosmische Strahlung (CR) und dazu die Anzahl der Sonnenflecken für die Sonnenzyklen 21-23 und dazu den Korrelationsfaktor.

Abbildung 132b) zeigt die reziproke CR und die radiale Komponente der IMF. Wie zu erwarten, ist der Korrelations-faktor deutlich niedriger.

In der Abbildung 132c) ist dagegen die reziproke CR zum Nonaxi-symmetric Open Flux dargestellt. Wie bereits der Kurvenverlauf zeigt, stimmen beide sehr gut miteinander überein. Der Korrelationsfaktor liegt denn bei hohen 0,86, Quelle: **Wang et al.**, “Role of the Sun's Nonaxisymmetric Open Flux in Cosmic-Ray Modulation“, The Astrophysical Journal, 644:638-645, 10. Juni 2006.

Die reale Aktivität der Sonne zeichnet sich nicht in der Sonnenfleckenzahl, sondern in ihrer magnetischen Aktivität ab.

Die Untersuchungen zeigen, dass die unmittelbare magnetische Aktivität der solare Parameter ist, der die Sonnenaktivität am genauesten wieder gibt und damit für die Energieabgabe der Sonne und damit auf unser Wetter/Klima am geeignetsten. Weiter konnte gezeigt werden, dass entgegen diverser Aussagen wie dem PIK (Rahmstorf), die solare Aktivität hätte seit 60 Jahren nicht mehr zugenommen falsch sind. Vielmehr nahm diese bis zur Jahrtausendwende, parallel zum Hauptsonnenzyklus, dem im Mittel 208-jährigen de Vries/Suess-Zyklus zu. Seitdem fallen die Temperaturen und werden dies für die nächsten Jahrzehnte auch weiterhin tun, wovon nicht nur die NASA ausgeht.

Raimund Leistenschneider - EIKE

Teil 6 in Kürze

Dynamisches Sonnensystem – die tatsächlichen Hintergründe des Klimawandels

Während die Vertreter der anthropogenen Klimaerwärmung immer noch nicht wahrhaben wollen, dass der Zug sozusagen für Sie abgefahren ist und das Wetter/Klima sich nicht nach Computermodellen, sondern an der Realität ausrichtet, zeigt und belegt Teil 6, worum es sich bei dieser Realität handelt. Wie alle unsere Vorfahren bereits wussten, ist dies allein die Sonne. In den letzten zwei Jahrzehnten hatte eine gut organisierte "Mafia", wie der ehemalige französische Wissenschaftsminister Claude Allegre (*"eine ganz gewöhnliche Mafia"*) über das IPCC sagte, teils mit großem Erfolg versucht, die triviale Erkenntnis, dass nur die Sonne allein die Erdtemperaturen bestimmt, auszuhöhlen. Aber wie bereits Abraham Lincoln so trefflich erkannte: ***"Man kann alle Menschen eine Weile täuschen und einige Menschen für immer, aber nicht alle Menschen die ganze Zeit."***

Teil 1 – Die Sonne bestimmt den Temperaturgang
Teil 2 – Die Sonne, der faszinierende Stern
Teil 3 – Sonnenflecken und ihre Ursachen
Teil 4 – Die Sonnenatmosphäre, Korona, Heliosphärische Stromschicht, interplanetares Magnetfeld
Teil 5 – Die variable Sonne
Teil 6 – Der Einfluss der Sonne auf unser Wetter/Klima
Teil 7 – Der Einfluss der Sonne auf die Wolkenbedeckung über Svensmark hinaus
Teil 8 – Zukünftige Temperaturentwicklung und deren Schwankungen

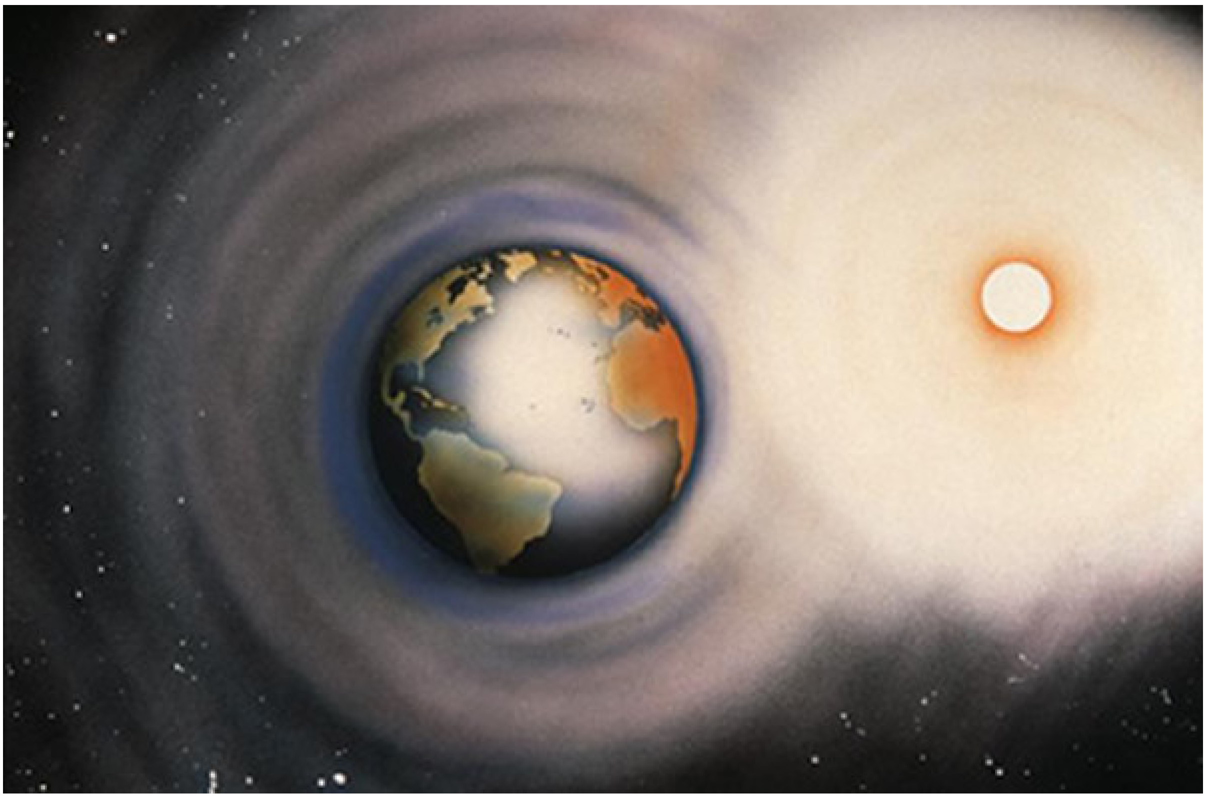
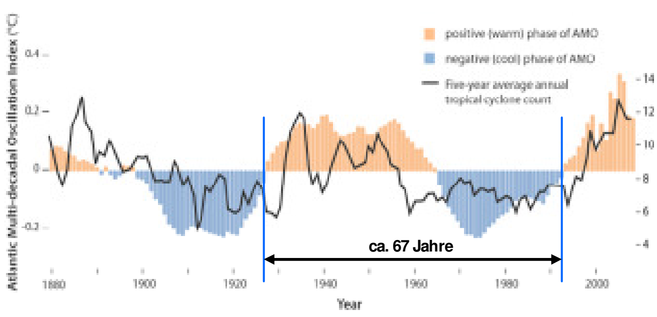


Abbildung 0

Teil 6 – Der Einfluss der Sonne auf unser Wetter/Klima

Im Teil 1, „Die Sonne bestimmt den Temperaturgang" wurde bereits gezeigt, wie die Sonne auf die El Niñoaktivität einwirkt und damit die Temperaturen der letzten 30 Jahre exakt moderierte. Weiter wurde im Teil 3 dargelegt, wie der Brückner/Landscheidt-Zyklus den Temperaturgang

der letzten 1.200 Jahre bestimmt, sowie (Abbildung 45) der kleine Landscheidt-Zyklus im Temperaturgang der letzten 30 Jahre deutlich abgebildet ist. Darüber hinaus zeigt Abbildung 38, die hier nochmals gezeigt wird, wie der Brückner/Landscheidt-Zyklus wichtige Klimaparameter, wie AMO und PDO regelt.



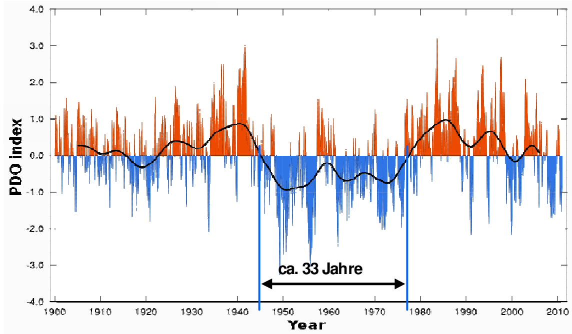


Abbildung 38 links, Quelle: Dr. Landsea, zeigt die AMO-Schwingung, mit einer positiven und negativen Phase von im Mittel 33,5 Jahren. Abbildung rechts (NOAA) zeigt die PDO mit der negativen Phase von 33 Jahren.

Viel war in den letzten Jahren über einen dramatischen Gletscherrückgang zu hören, der auf die CO_2-Ausbringung zurückzuführen wäre. Nun, die folgende Abbildung zeigt, was es damit auf sich hat und was den Gletscherrückgang tatsächlich bestimmt. Dass derzeit die Alpengletscher stark auf dem Rückzug sind, was für die Kurzzeitbetrachtung auch stimmt, ist auf die AMO und damit auf die Sonne zurückzuführen. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die Entwicklung der österreichischen Alpengletscher seit 1890, Quelle: Slupetzky, 2005, Uni Salzburg.

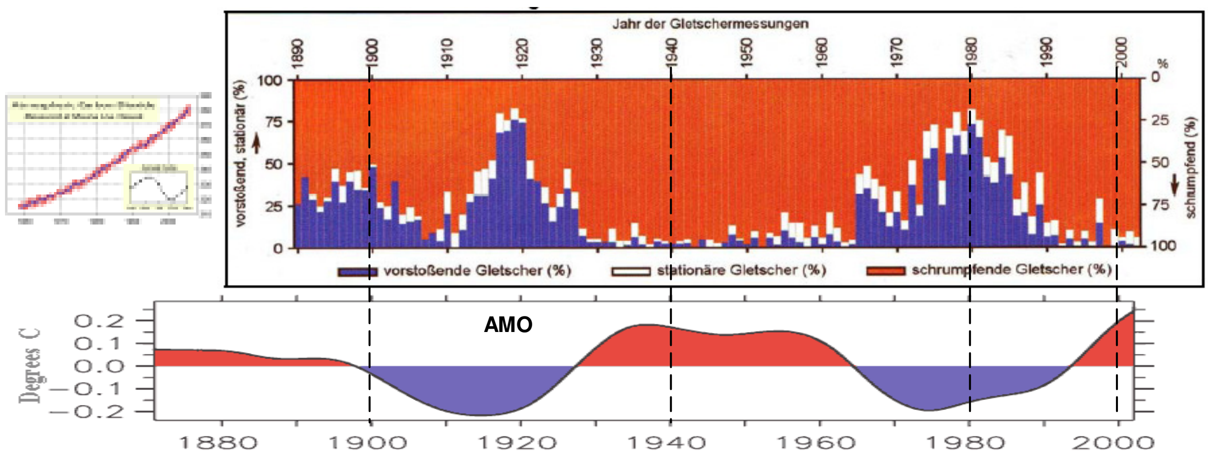


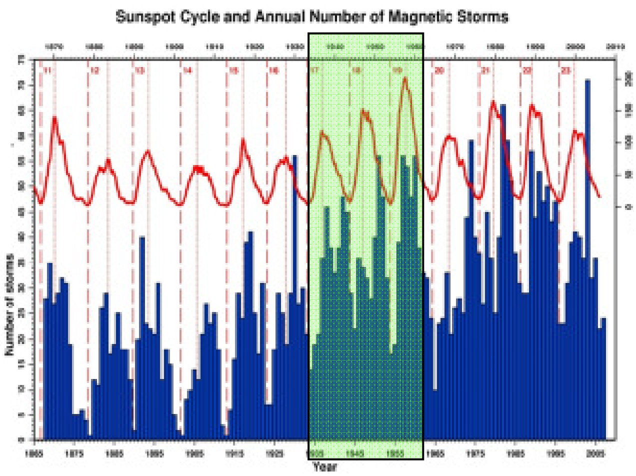
Abbildung 133 zeigt die zyklische Entwicklung der österreichischen Gletscher von 1890 - 2002. Gut ist erkennbar, dass der derzeitige Rückzug auf einen längeren Eisvorstoß folgt und das in den Jahren von 1930 bis in die 1960-Jahre, ähnlich geringe Eisbedeckungen vorlagen, wie heute. Der Gletscherzyklus zeigt weiter sehr starke Ähnlichkeiten mit der AMO und keine mit einem CO_2-Atmosphärenpegel (kleines Bild).

Abbildung 133 wurde durch Untersuchungen der **ETH Zürich** in 2010 bestätigt "Alpen-Gletscherschmelze von Atlantikströmung beeinflusst?", Geophysical Research Letters (2010), 37, L10501. Die Untersuchungen anhand von 30 Gletschern zeige, dass die Massenbilanz der Schweizer Gletscher mit der AMO korreliere, so die Forscher. Und weiter *"Es zeigte sich, dass die AMO die Perioden besonders markanter Gletscherrückgänge, wie etwa in den 1940ern und seit den 1980ern, so wie Stagnation oder Zuwachs in den 1910er und 1970er Jahren, erklären kann."*

In ihrer Studie geben die Forscher der Sonneneinstrahlung den maßgeblichen Anteil am Gletscherrückgang. Dabei dienten ihnen die seit 1934 vorliegenden Messungen der Sonneneinstrahlung in Davos. Während die ETH-Wissenschaftler die verstärkte Sonneneinstrahlung auf

die alpinen Gletscher und auf die geringere Aerosolkonzentration der Atmosphäre zurückführen (Aerosole reflektieren direkt das Sonnenlicht, bzw. dienen über chemische Reaktionen als Kondensationskeime für Wassertropfen und beeinflussen somit maßgeblich die Wolkenbildung), sind direkte solare Aktivitätssteigerungen und damit verbundener geänderter Wetterlagen und höherer Temperaturen ebenso ausschlaggebend für die Periode der Gletscherrückgänge, wie Abbildung 133 zeigt.

Die ETH-Forscher ermittelten eine um 18 W/m^2 höhere solare Einstrahlung als in den vergangenen 10 Jahren bis heute, was, angesichts dem Strahlungsantrieb von 1,5 W/m^2, welcher das IPCC dem CO_2 in seinen Klimamodellen zubilligt, ganz enorm ist. Die erhöhte Sonneneinstrahlung in den 1940-Jahren deckt sich weiter mit den Messungen der Globalstrahlung auf der “Säkularstation Potsdam Telegrafenberg“. Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die solare Aktivität im Vergleichzeitraum, sowie die Durchlässigkeit der Atmosphäre.



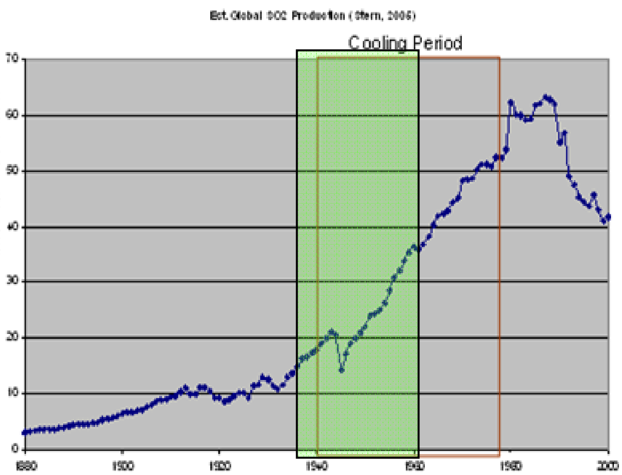


Abbildung 134 links, Quelle: British Geological Survey, zeigt die magnetische- und Fleckenaktivität der Sonne im Zeitraum von 1867 - 2007. Im Zeitraum von 1930 - 1960 (grün) ist ein deutlicher Anstieg in der magnetischen, als auch in der Fleckenaktivität der Sonne erkennbar (der bis zum Jahr 2003 anhält – dort hatte der Hauptsonnenzyklus*), der im Mittel 208-jährige de Vries-Suess-Zyklus sein Maximum), was mit dem Zeitraum der positiven AMO und des mit ihr in Verbindung stehenden Gletscherrückgangs (Abbildung 133) übereinstimmt. Die Abbildung rechts zeigt den SO_2-Aerosolgehalt in der Atmosphäre im Zeitraum von 1880 bis 2000, Quelle: **David Ian Stern**, Australian National University, Centre for Resource and Environmental Studies.

Für die atmosphärische Aerosolentwicklung ist der atmosphärische Schwefeldioxid-, bzw. Sulfat-Gehalt (bildet sich über Wasser und SO_2) wesentlich. Der unter dem Begriff “Global Cooling“ bekannte Temperaturrückgang durch zusätzliche Partikel in der Atmosphäre basiert auf SO_2 und Rußpartikel. Den Einfluss von SO_2 auf die globalen Temperaturen zeigen beispielsweise die Auswirkungen des Vulkanausbruchs Pinatubo in 1991, durch den große Mengen SO_2 in die Atmosphäre gelangten, wodurch die global gemittelten Temperaturen für 2 Jahre um ca. 0,6°C zurückgingen.

Hohe solare Aktivität, verbunden mit geringer Aerosolbildung (klare Luft) sind demnach die Ursachen für den starken Gletscherrückgang in den 1940-Jahren. Da die Gletscher im Zeitraum davor wuchsen und die Luft seinerzeit damit noch klarer war (!), bleibt für den Gletscherrückgang in den 1940-Jahren einzig die starke solare Aktivität übrig, wie dies bis zu den letzten Jahren ebenfalls vorlag.

*) Periodizäten werden anhand der Fourier-Analyse der Sonnenfleckenzahl (Wolf-Zahl) bestimmt.

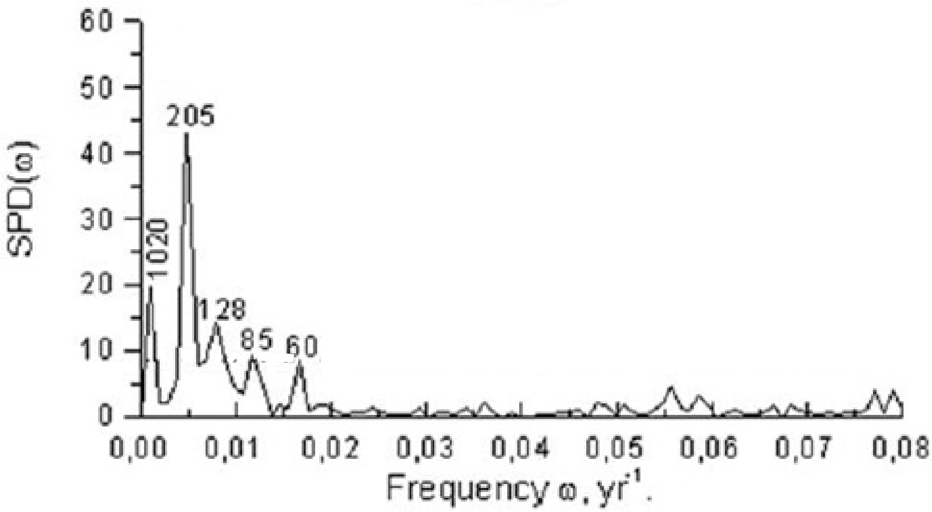


Abbildung 135: Anhand der Fourier-Analyse, Quelle: Orgutschov et al., werden in der Sonnenfleckenzahl verschieden Perioden sichtbar. Die dominanteste ist die 205-Jahres-Periode, was dem Hauptsonnenzyklus, dem im Mittel 208-jährigen de Vries/Suess-Zyklus entspricht. Darüber hinaus eine 85-Jahres-Periode, der Gleißberg-Zyklus, eine 60-Jahres-Periode (Landscheidt-Zyklus).

Das gleiche Bild auch für die schweizerischen Gletscher.

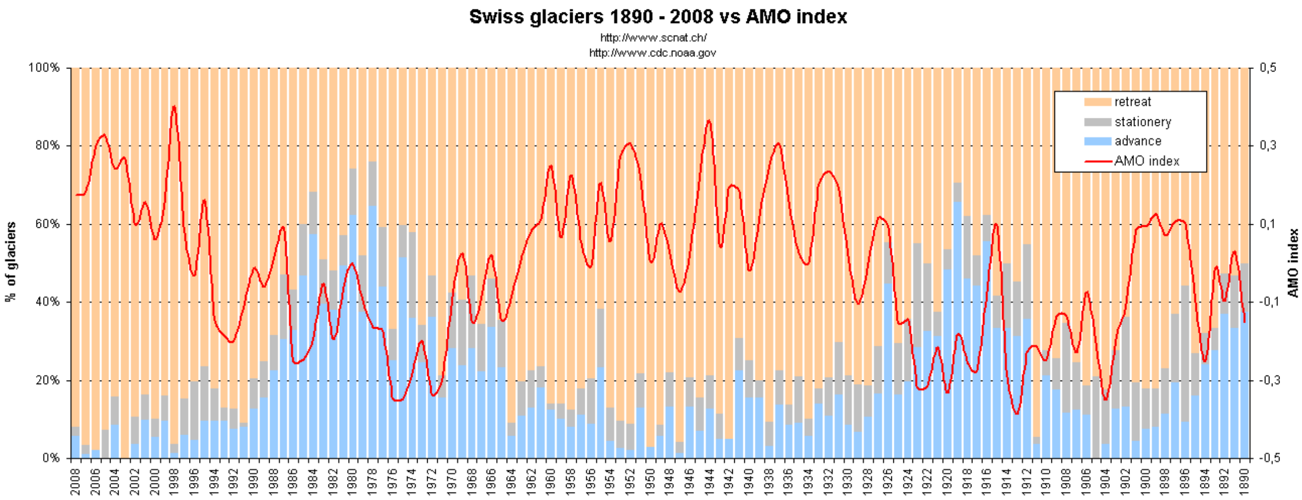


Abbildung 136 der schweizerischen Gletscherentwicklung im Zeitraum von 1890 - 2008 zeigt ebenfalls keinerlei Zusammenhang mit dem Anstieg eines atmosphärischen CO_2-Pegels, dagegen aber einen nicht zu übersehenden Zusammenhang zur AMO. Während der AMO-Warmphasen kommt es zu einem deutlichen Gletscherrückgang und während der AMO-Kaltphase zu einem entsprechenden Gletschervorstoß, wobei der heutige Gletscherschwund nichts Außergewöhnliches darstellt und ebenfalls zyklisch ist.

So wundert es denn auch nicht (AMO und PDO geben die Schwankungen der Meeresoberflächentemperatur an und das Hauptkriterium für Veränderungen des Meeresspiegels auf kleinen Zeitskalen ist die thermische Ausdehnung des Wassers), dass die Meeresspiegelschwankungen ebenfalls auf die variable Sonnenaktivität zurückgehen und mit einem atmosphärischen CO_2-Pegel rein gar nichts zu tun haben,

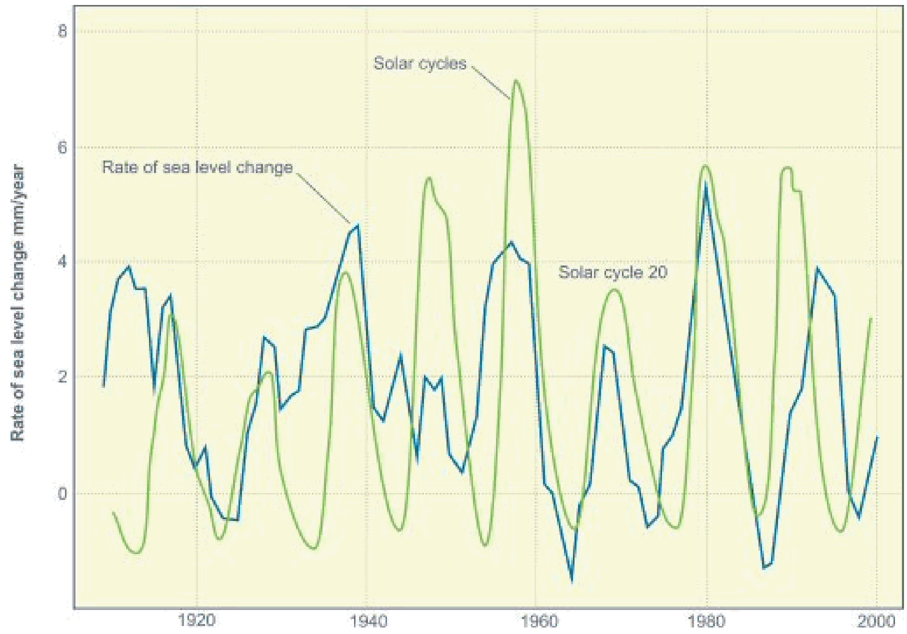
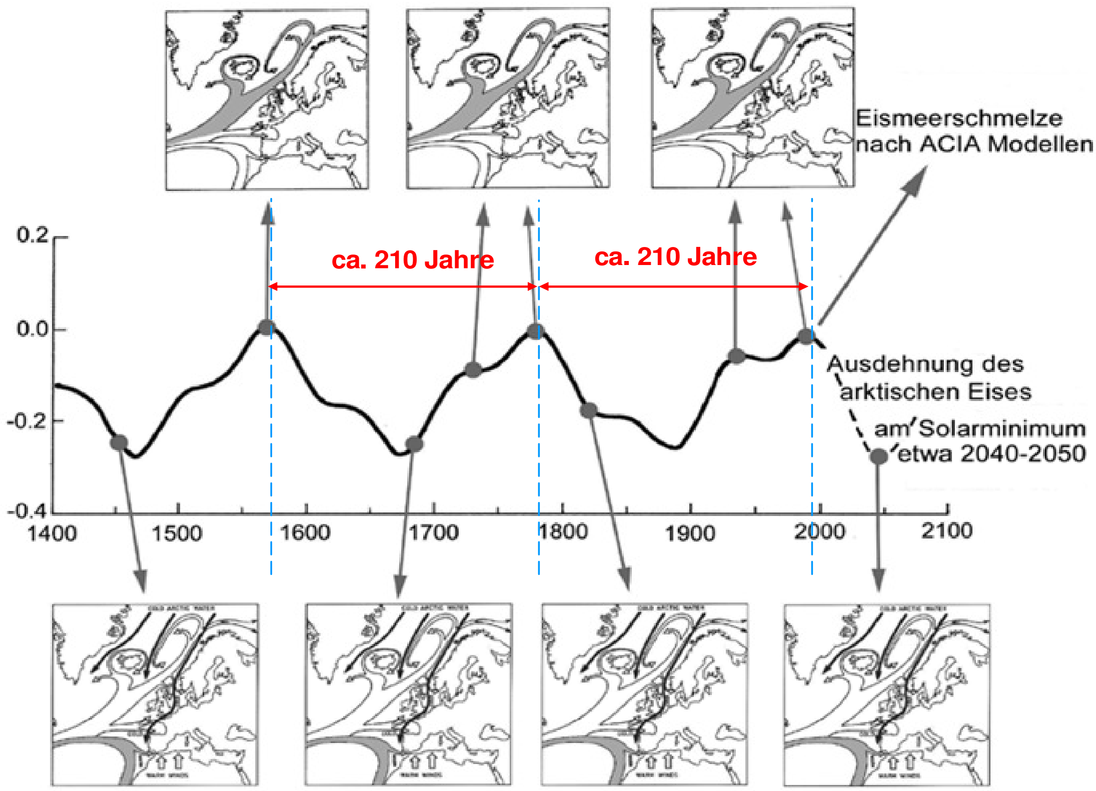


Abbildung Abbildung 137 zeigt, dass die Meeresspiegelschwankungen gut mit den Schwankungen im Schwabe-Zyklus der Sonne korrelieren (Quelle: http://wattsupwiththat.com/2009/04/07/archibald-on-sea-level-rise-and-solar-cycles/). Dr. Simon Holgate (National Oceanography Centre - von ihm stammt die Untersuchung) gibt an, dass 70% der ermittelten Meresspiegelschwankungen auf thermische Ursachen und nur 30% auf Schmelzvorgängen beruhen.

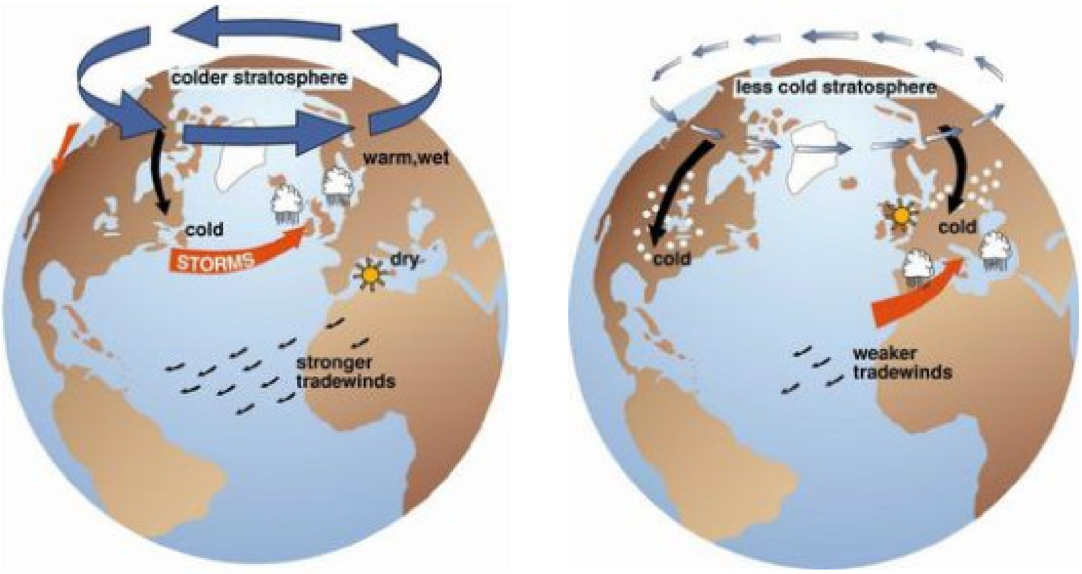
Nicht nur die alpine Gletscherentwicklung und damit Eisbedeckung wird unmittelbar von der Sonne gesteuert, sondern auch die arktische Eisbedeckung, wie die folgende Abbildung zeigt.



Natürliche Schwankungen auf die Meeresströmungen im Nordatlantik und somit auf den Golfstrom, zeigt Abbildung 138, Quelle: Dr. Axel Mörner, “Keine Gefahr eines globalen Meeresspiegelanstiegs“. Die Abbildung wurde vom Autor um den de Vries/Suess-Sonnenzyklus ergänzt. Zu sehen ist die arktische Eisentwicklung in Verbindung mit den vorherrschenden Meeresströmungen in Relation zum Hauptsonnenzyklus (de Vries-Suess-Zyklus). Sowohl die arktische Eisbedeckung, als auch das Muster der Meeresströmungen folgt dem im Mittel 208-

jährigen de Vries-Suess-Zyklus. Bei Sonnenminima erlebten Nordwesteuropa, der Nordatlantik und die Arktis Kaltphasen. Die Abbildung zeigt weiter, dass für die nächsten 30 - 40 Jahre eine arktische Eisausdehnung und keine Eisschmelze zu erwarten ist.

Der Hauptfaktor für das Wetter in Europa und für die dortigen Klimaschwankungen ist die Nord-Atlantik-Oszillation (NAO). Sie ist ein regionaler Teil der ringförmigen Arktik Oszillation (AO, siehe folgende Abbildung) und beschreibt den Druckunterschied zwischen dem Islandtief und dem Azorenhoch. Wie der Name sagt, ist dieser Druckunterschied nicht konstant, sondern Schwankungen unterworfen, die einen oszillatorischen Charakter haben.



Abbildungen 139 zeigt die positive (links) und negative (rechts) Phase der Arktischen Oszillation: Milde Winter in Europa, feucht im Norden und trocken im Süden, sowie Kälte in Ostkanada sind Ausdruck der von starker zirkumpolarer Luftmassenzirkulation geprägten positiven AO-Phase. Hingegen bringt die negative Phase Kaltluft nach Europa und weit nach Nordamerika, sowie Feuchtigkeit in den Mittelmeerraum. Die AO gibt die gemittelte Druckanomalie auf dem 1.000hPa-Niveau nördlich des 20. Breitengrads an.

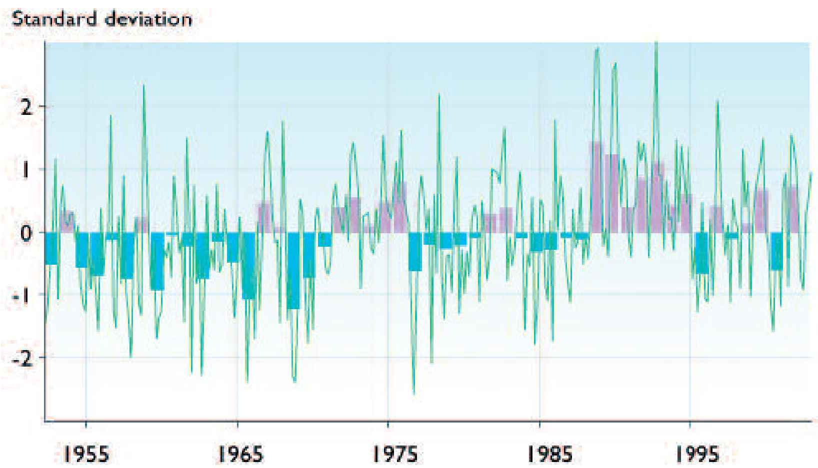


Abbildung 140 oben zeigt den Verlauf der AO im Zeitraum 1951 - 2003, Quelle: ACIA.

Die NAO bestimmt den Verlauf der Zugbahnen atlantischer Sturmsysteme und der daraus resultierenden Beeinflussung von Niederschlags- und Temperaturmuster im Nordatlantik. Sie wird auch in Zusammenhang gebracht mit der arktischen Meereisausbreitung, dem Eisvolumen in der "Davis Strait" und den Eisbergflussraten vor der Küste Labradors. Sie ist maßgeblich für unser Wettergeschehen und wird an dieser Stelle näher betrachtet.

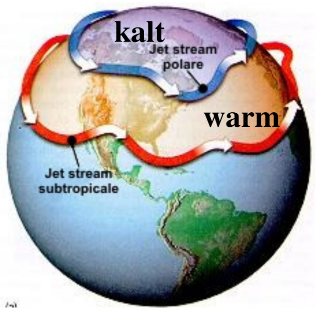
Allgemein gilt, dass der NAO-Index die Differenz der Druckanomalie auf den Azoren minus der auf Island ist, d.h. ist der NAOI stark positiv, hat man ein ausgeprägtes Azorenhoch bzw. Islandtief, was mit einem starken westwärts gerichteten Grundstrom und dafür typischen wandernden Zyklonenfamilien im nord-west-atlantischen und west-europäischen Raum

verbunden ist. Im Gegensatz dazu, wenn der NAOI niedrig oder negativ ist, dann ist der Grundstrom schwach, was oft mit meridionalen, blockierten Wetterlagen einher geht. Hieraus wird deutlich, dass der NAO eine besondere Bedeutung für das europäische Wettergeschehen, vor allem im Winter zukommt, da dann aufgrund des verstärkten meridionalen Temperaturgradienten zwischen Äquator und Pol die allgemeine atmosphärische Zirkulation in den gemäßigten Breiten verstärkt ist. Folgend sind die Auswirkungen einer positiven und negativen NAO auf die Atmosphäre und die Ozeane kurz zusammen gefasst. Positiver Index bedeutet meist nasses und warmes Wetter, negativer Index trocken und kaltes Wetter.

Auswirkungen der positiven NAO

Atmosphäre

- In Grönland bestimmt die Polarluft das Wetter, somit ist es besonders kalt und trocken.



- Der Jetstream (PFJ), ein Windsystem (Abbildung 141, zeigt nur die nördlichen Jetstream, es gibt gleichermaßen auch die südlichen Jetstream – sie werden durch große horizontale Temperaturunterschiede und die Corioliskraft verursacht), das in der oberen Tropos- und unteren Stratosphäre bei etwa 30° bis 70° nördlicher Breite um den Globus bläst und dabei Windgeschwindigkeiten von über 400 km/h erreicht, wird von dem Islandtief so beeinflusst, dass die über dem Atlantik gebildeten Tiefdruckgebiete mit ihren starken Stürmen direkt Nordeuropa erreichen. Starke Niederschläge und milde Temperaturen in unseren Breiten sind die Folge.

- Währenddessen erreichen kalte Ausläufer des Russland-Hochs häufig den Mittelmeerraum. Dem entsprechend wird es dort kälter und trockener als gewöhnlich.

- Über Nordafrika verstärken sich die Passatwinde.

Ozeane

- Der Eisexport aus der Arktis scheint durch das kalte Wetter in Grönland größer als normal zu werden.

- Die Oberflächentemperatur zeigt eine dreipolige Struktur: Durch die kalten Winterstürme wird die Labradorsee besonders kalt. Die Region des Golfstroms dagegen erwärmt sich, wenn der Golfstrom und sein Ausläufer, der Nordatlantische Strom mehr warmes Wasser nordwärts transportiert.

Auswirkungen der negativen NAO

Atmosphäre

- In Grönland wird es relativ warm, denn das schwache Tief kommt nicht gegen die warmen Luftströmungen vom amerikanischen Festland an.

- Durch einen schwächeren Luftdruckgegensatz sind die Westwinde über dem Atlantik schwächer. Sie erreichen kaum Nordeuropa, sondern eher den Mittelmeerraum.

- Dort sorgt die Luftströmung vom Atlantik für verstärkte Niederschläge.

- Das Hoch über Russland kann nun seine volle Kraft entfalten und schickt Nordeuropa sibirische Temperaturen und trockenes Wetter.

Ozeane

- Die **Eismassen in der Arktis** scheinen sich zurückzuziehen, **genauso wie die Gletscher auf Grönland**. Dies geschieht aber deutlich langsamer als die NAO schwankt.

- Die dreiteilige Struktur im Nordatlantik hat sich umgedreht: Die wärmere Festlandsluft in der Labradorsee sorgt dafür, dass diese Gegend wärmer wird. Vor der Ostküste der USA bleibt es eher kühl, weil der jetzt schwächere Golfstrom weniger warmes Wasser nach Norden transportiert.

- Die Passatwinde entlang des Äquators sind schwächer, so dass die Abkühlung dort geringer wird.

Wie aus Abbildung 142 ersichtlich, ist kein Zusammenhang des NAOI mit einer Erhöhung der CO_2-Konzentration zu erkennen. Dagegen gibt es eine signifikante Korrelation zwischen NAO-Index (positiver, negativer NAO) und Sonnenaktivität. Quelle: "Length of the solar cycle influence on the relationship NAO-Northern Hemisphere Temperature", L. Torre, L. Gimeno, M. Tesouro, J. A. Añel, R. Nieto, P. Ribera, R. García, E. Hernández, Geophysical Research Abstracts, Vol. 5, 30-1-2003, European Geophysical Society.

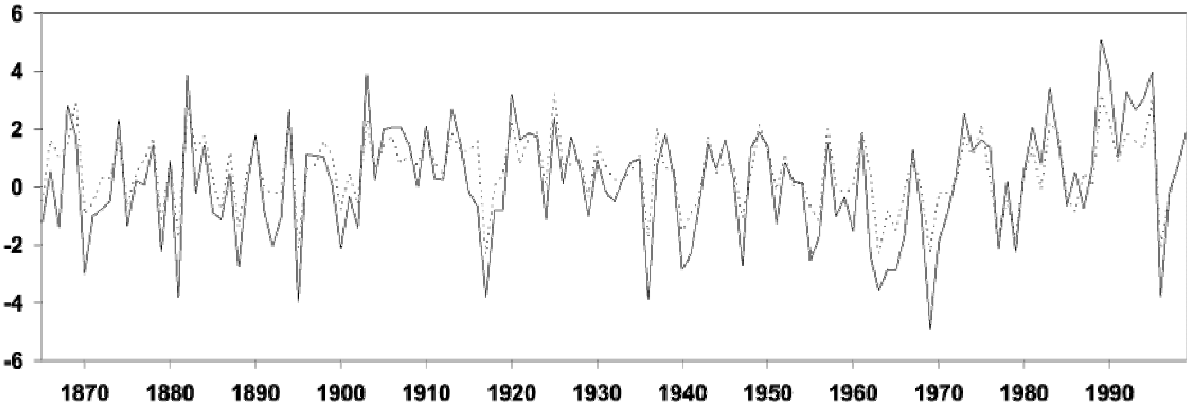
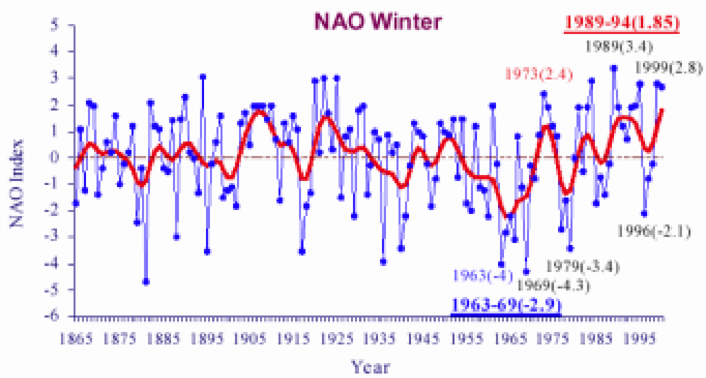


Abbildung 142: Wintermittel der NAOI nach Hurrell (durchgezogen) 1865 - 1999 und nach Jones (gepunktet) 1865 - 1998 (Ordinatenwerte: Differenz des normalisierten, auf Meeresniveau reduzierten Luftdrucks in [hPa]). Quelle: W. Hurell and H. van Loon. "Decadal variations in climate associated with the North Atlantic oscillation." Climate Change, 36:301-326, 1997.

Die folgenden Abbildungen zeigen den NOA-Winterindex nach Hurrel. Sowohl in der linken und noch mehr in der rechten Abbildung ist deutlich der Schwabe-Zyklus der Sonne abgebildet. Die Schwankungen der NAO sind in Übereinstimmung mit den Sonnenzyklen.



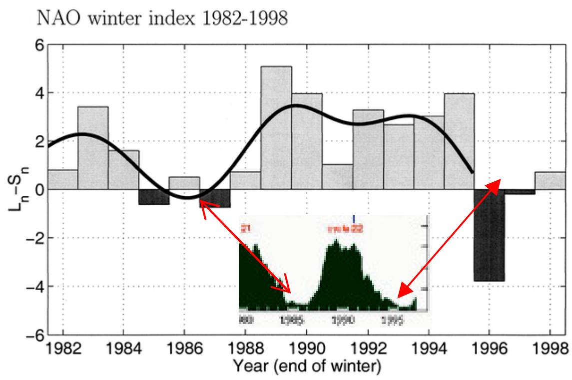


Abbildung 143 links zeigt den NAO-Winterindex von 1865 - 2000 (Quelle: Deutscher Wetterdienst). Deutlich ist in der Wellenform ein 10-Jahres-Zyklus abgebildet, der zeitlich mit dem Schwabe-Zyklus korreliert. Hohe Indexwerte sind mit einer intensiven nordatlantischen Westdrift und damit milderen Temperaturen verbunden. Rechts ist der NAO-Winterindex von 1982 - 1998 abgebildet (ergänzt nach Quelle: American Meteorological Society Journal Online, Volume 13, Issue 5, März 2000). Die kleine Abbildung ist hineinkopiert und zeigt den Schwabe-Zyklus der Sonne im selben Zeitraum. Er stimmt exakt mit dem NAO-Winterindex überein.

Die dargelegten Zeitreihen belegen nachhaltig, dass die NAO und somit unser Wetter nicht von einem CO_2-Gehalt in der Atmosphäre beeinflusst werden, da kein Zusammenhang feststellbar ist, sondern von der Sonne.

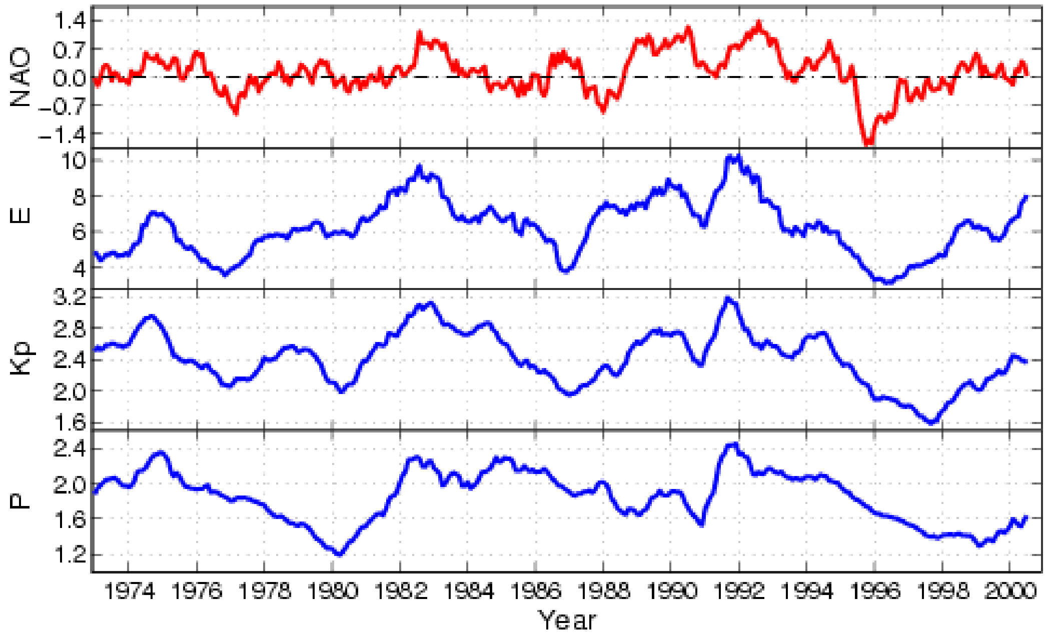
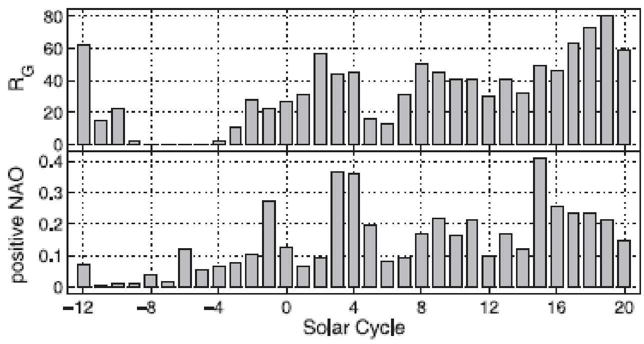
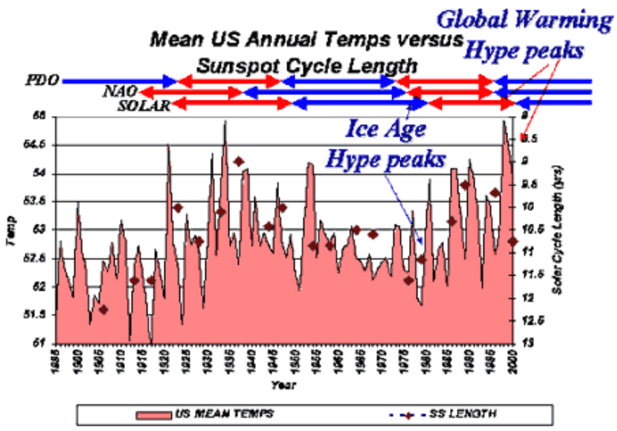


Abbildung 144 zeigt oben die NAO im Zeitraum von 1973 bis 2002. Darunter das elektrische Feld (E) des Sonnenwinds. Als dritten Graph den planetary magnetospheric Kp-Index und den dynamischen Druck (P) des Sonnenwindes, Quelle: Lund-University, Schweden (http://sunspot.lund.irf.se/nao1.html). Der Kp-Index ist eine Maßgröße für die geomagnetische Sonnenaktivität, die aus den Daten von 13 weltweiten Observatorien bestimmt wird. Der Kp-Index geht zurück auf Prof. Julius Bartels, der ihn 1949 entwickelte.

Es ist ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem NAO-Verlauf und den verschiedenen Sonnenaktivitätsparametern festzustellen. Dies zeigen auch die beiden folgenden Abbildungen. Die erste Abbildung stammt aus der Arbeit “Solar Wind Variations Related to Fluctuations of the North Atlantic Oscillation“ von **Fredrik Boberg** (Lund Observatorium, Schweden), **Henrik Lundsted**t (Swedish Institute of Space Physics) und die andere von der University of Colorado.





Die linke Abbildung 145 zeigt oben die Gruppe der Sonnenflecken (RG) für 33 Sonnenzyklen, vom Zyklus -12 bis Zyklus 20 und darunter die Stärke der positiven NAO, Quelle: (http://sunspot.lund.irf.se/NAO_article1.pdf). Die rechte Abbildung zeigt die Temperatur in den USA von 1885 - 2000 und dazu die positiven und negativen Phasen der PDO und NAO im Vergleich zur Sonnenzykluslänge (rote und blaue Balken), Quelle: (http://wxpaos09.colorado.edu/atoc1060/overheads/fig4.gif).

So ist mit dem Einfluss der Sonnenaktivität auf die NAO, die Sonne für die Änderungen in den Luftströmungen verantwortlich und damit für unser Wetter/Klima ursächlich. CO_2 spielt erkennbar keine Rolle. Auch keine kleine – gar keine!

In der Abbildung 145 rechts ist der Zusammenhang zwischen Zykluslänge des Schwabe-Zyklus und der PDO und AMO dargestellt. Aus der Zykluslänge lässt sich die Sonnenaktivitätsstärke ableiten und sie ist somit ein direktes Maß für die solare Aktivität. Abbildung 146 verdeutlicht dies.

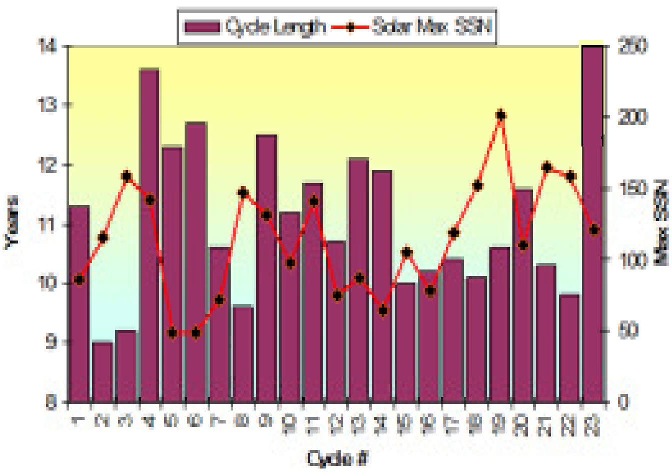


Abbildung 146: Das Bild zeigt die Länge der Sonnenzyklen und die Sonnenfleckenanzahl (SSN: Solar Sonspot Number). Der 23. Schwabe-Zyklus ist mit 14 Jahren Länge, einer der längsten seit Aufzeichnungsbeginn. Je kürzer der Zyklus, umso höher die Fleckenzahl, was nach der Dynamotheorie physikalisch zwangsläufig ist, da Ladungen schneller bewegt werden!

Wie bereits gezeigt, bestimmt die Sonne nicht nur das Wetter/Klima alleinig auf der Nordhalbkugel, sondern natürlich auch auf der Südhalbkugel und den Tropen, was am Beispiel ihres Einflusses (CO_2 spielt auch hier keine Rolle, wie die Abbildungen zeigen) auf die QBO gezeigt wird.

Mit der **QBO** wird die periodische Umkehrung der äquatorialen Winde in der unteren Stratosphäre (quasi-zweijährige Schwingung des tropischen Windes) beschrieben. Sie dominiert die untere tropische Stratosphäre das ganze Jahr und beeinflusst auch die Winterhemisphäre der hohen Breiten deutlich. Perioden mit Ost- respektive Westwind in einer Höhe von 15 - 30 km wechseln sich etwa alle 26 Monate ab. Dabei geht die Windänderung von den oberen Schichten aus und pflanzt sich nach unten fort. Die QBO verläuft zonal über dem Äquator und

erstreckt sich auf Breiten von weniger als 15°. Der unten aufgezeichnete QBO-Index entspricht dem monatlich gemittelten zonalen Wind über dem Äquator auf einer Höhe von 30hPa (standardisiert). Der Prozess der QBO ist heute noch relativ unerforscht. Als Ausbreitungsmechanismus werden Wellen angenommen. Dagegen sind die Auswirkungen der QBO, beispielsweise auf die Verteilung des stratosphärischen Ozons relativ gut bekannt.

Während Westphasen der QBO, in denen die Temperatur der arktischen Stratosphäre mit der solaren Strahlung positiv korreliert, treten Stratosphärenerwärmungen nur zu Zeiten solarer Maxima auf. Hingegen treten während der Ostphase - die obige Korrelation ist jetzt negativ - markante Stratosphärenerwärmungen beinahe nur zu Zeiten solarer Minima auf. Quelle: **Gruppe für Klimatologie und Meteorologie der Universität Bern**. Die folgende Tabelle gibt den Zusammenhang wieder (Quelle: Prof. Karin Labitzke).

	Sonnenfleckenminimum	Sonnenfleckenmaximum
QBO Ost	warmer, gestörter Polarwirbel	kalter, ungestörter Polarwirbel
QBO West	kalter, ungestörter Polarwirbel	warmer, gestörter Polarwirbel

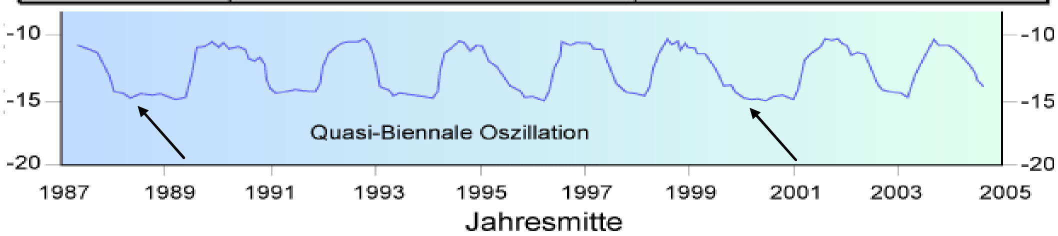
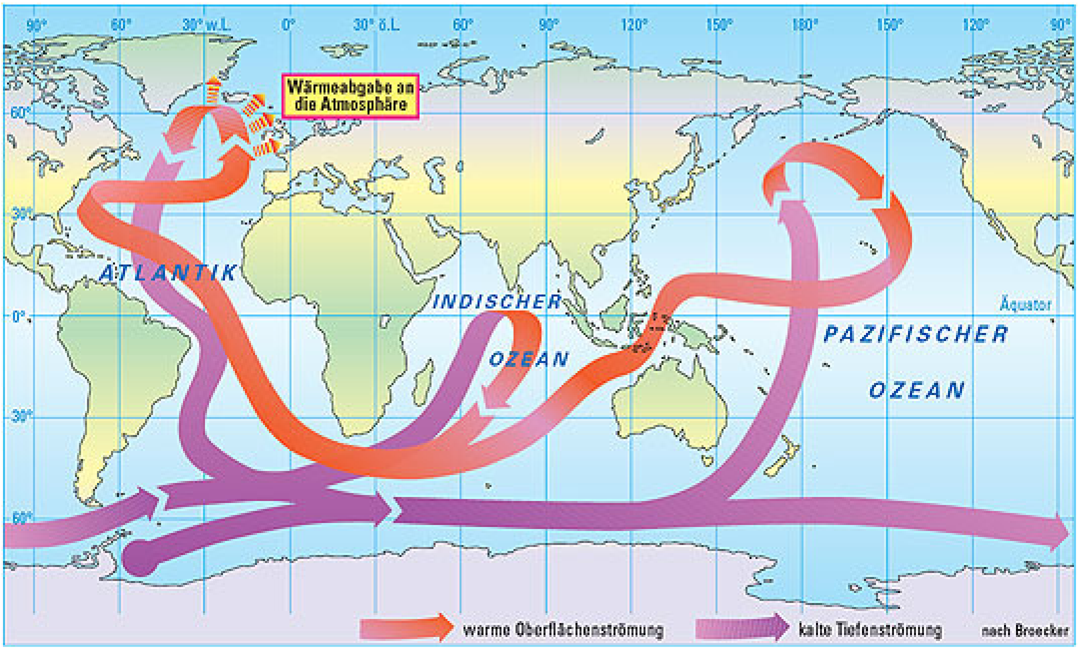


Abbildung 147: Die Tabelle zeigt den Einfluss der QBO und des Schwabe-Zyklus auf die Winterzirkulation der Stratosphäre. Darunter die QBO im Zeitraum von 1987 - 2005. (Quelle: Hamburger Bildungsserver) Deutlich ist ihre zweijährige Schwingung zu sehen. Jeweils vor einem solaren Maximum (1991 und 2001) ist ihre Phase länger ausgeprägt (Pfeile). Auch bei der QBO ist kein Einfluss vom atmosphärischen CO_2-Pegel zu erkennen.

Der Einfluss, der durch die Sonnenaktivität modulierten Stratosphäre reicht über vertikale Zirkulation bis in die Troposphäre und bestimmt dort unser Wetter. So konnten Labitzke und Loon zeigen, dass sich die Hadley-Zirkulation in Abhängigkeit der QBO während des Sonnenfleckenmaximums verstärkt. Aktuelle Untersuchungen zeigen ebenso einen Einfluss auf die Walker-Zirkulation und damit auf die ENSO (El Niño Southern Oscillation). Wie bereits gezeigt, werden ebenso die AO und die NAO durch die Sonnenaktivität moduliert. Darüber hinaus wird bei schwächer strahlender Sonne die Stratosphäre durch UV-Anteile, die weit stärker variieren, als der sichtbare Anteil, nicht so stark erwärmt und wendiger Ozon von den Tropen polwärts transportiert (Brewer-Dobsen-Zirkulation). Der daraus resultierende geringere Temperaturunterschied zwischen Pol und Tropen erzeugt einen schwächeren Polarwirbel mit dem dazugehörigen Stratosphärenjet, wodurch sich der Polarjet abschwächt und dieser mehr mäandriert, wodurch es zu einer größeren Neigung von Kaltvorstößen kommt.

Nicht nur in unseren Zeiten, auch in der Vergangenheit hat die Sonne und nur sie allein, das Wetter- und Klimageschehen bestimmt, wie am Beispiel des 8,2k-Ereignisses gezeigt wird. Üblicherweise dient das 8,2k-Ereignis als Beleg dafür, wie sehr die marinen Meeresströmungen, wie z.B. der Golfstrom labil sind und durch Änderungen in der Wasserzusammensetzung, z.B. durch Süßwasser, verursacht durch Gletscherschmelze beeinflusst werden und somit eine Gletscherschmelze eine Gefahr für Europa darstellen. Im Hollywood-Streifen, „The Day After Tomorrow" wurde dieses Schreckgespenst gewinnbringend vermarktet. Diverse Institute, wie das PIK, nehmen gerne solche Streifen, um die Richtigkeit ihrer Modelle zu unterstreichen. Dass es mit beiden nicht viel auf sich hat, zeigt die Beleuchtung des 8,2-k-Ereignisses und den tatsächlichen Hintergründen, die es auslösten und Europa für ca. 200 Jahre eine Kälteperiode brachte. Eine Änderung des Golfstroms ist nicht ursächlich!!

8,2k-Ereignis



Abblildung 148 (Quelle: Klett) zeigt das thermophaline Förderband mir seinen kalten Tiefen- und warmen Oberflächenströmungen. Unterschiede in der Wassertemperatur und im Salzgehalt sollen die Ursache für das thermophaline Förderband sein. Kaltes Wasser, sowie salzhaltiges Wasser ist schwerer und sinkt nach unten, was die Strömung anwerfen soll. Bei Erwärmung sind die Unterschiede geringer und das Förderband entsprechend schwächer.

Anmerkung: Bereits in 2010 stellten die Untersuchungen von **Susan Lozier**, Professor für physische Ozeanographie an der Duke Universität dieses Modell in Frage (scinexx, "Ozeane: Hat das „Förderband" ausgedient?"). Susan Loizer: *"Das alte Modell ist für die Umwälzung des Ozeans nicht länger gültig – nicht weil es eine grobe Vereinfachung ist, sondern weil es entscheidende Elemente wie Wirbel und Windfelder völlig ignoriert. Das Konzept eines Förderbands für die Umwälzung ist vor Jahrzehnten entwickelt worden, bevor Meeresforscher die Wirbelfelder des Ozeans gemessen haben und bevor die verstanden hatten, wie die Energie des Windes die Umwälzung beeinflusst."*

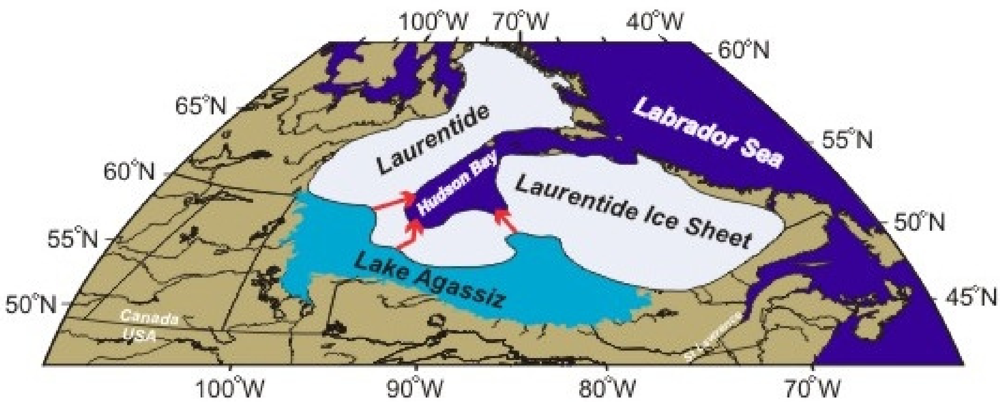


Abbildung 149, Quelle: (http://www.eos.ubc.ca/research/glaciology/research/LakeAgassiz.html) zeigt den Agassizsee im norden Kanadas, der sich aus dem abtauenden Eisschild der letzten Eiszeit bildete. Der Winnipegsee, Manitobasee und der Lake of the Woods sind die heutigen Übereste des Agassizsees.

Nach der Theorie verdünnten die gewaltigen Süsswassermengen der Agassizsee das ozeanische Salzwasser und brachten damit das Förderband zum Erliegen, was sich in einem deutlichen Temperaturrückgang bemerkbar machte. Dieser Temperaturrückgang ist in den Daten der Eisbohrkerne deutlich zu sehen (folgende Abbildung).

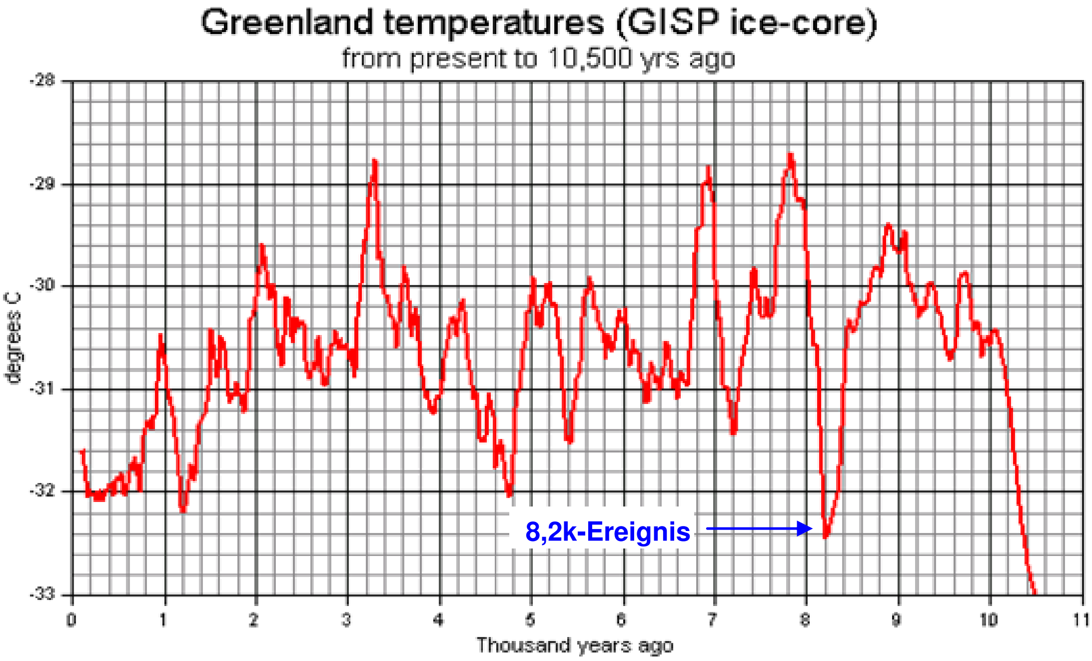


Abbildung 150, Quelle: (http://mclean.ch/climate/Ice_cores.htm) zeigt den Temperaturgang in Grönland anhand von GISP-Eisbohrkerndaten. Vor 8.400 Jahren ist ein deutlicher Temperaturrückgang zu verzeichnen, der um 8.200 seinen Tiefpunkt erreichte und etwa 200 Jahre anhält. Der Temperaturrückgang wird allgemein dem plötzlichen Auslaufen der Agassizsee in die Hudson Buy zugeschrieben.

Das Problem dabei ist, dass der Agassizsee bereits mehrmals davor und in viel heftigeren Flutwellen auslief, die alle keinen Fingerabdruck in der Temperaturreihe hinterließen. Das Manitoba Geological Survey hat eine Auflistung für mehrere Überläufe der Agissisee im Zeitraum von 11.700 BP und 7.600 BP aufgestellt.

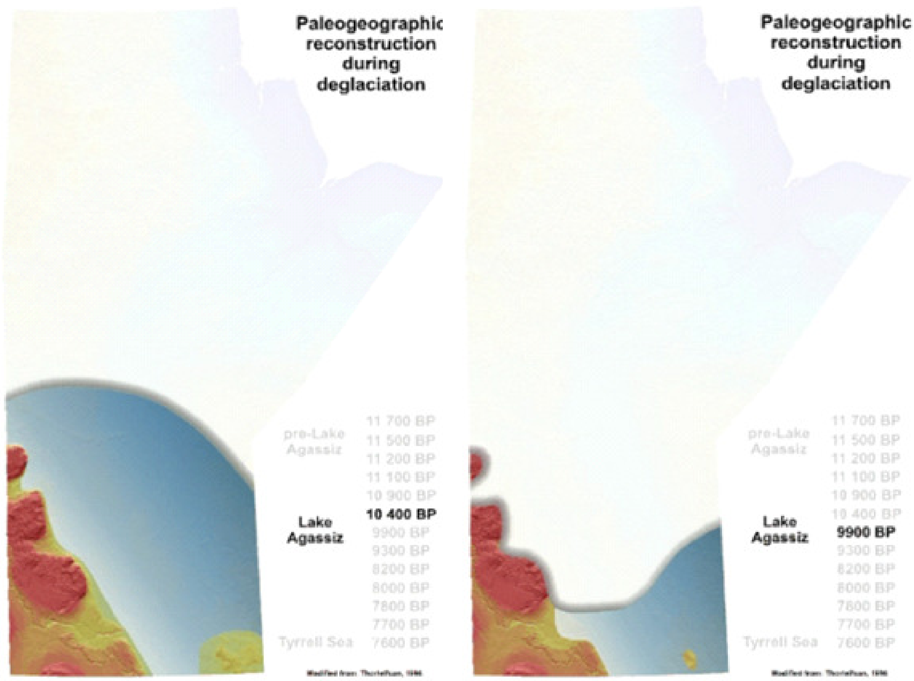


Abbildung 151 links zeigt die Situation der Agassizsee vor 10.400 Jahren und rechts, nach dem Überlauf, 500 Jahre Später, vor 9.900 Jahren. Weis: Wisconsin Eisschild, blau: Agassizsee, Quelle: Manitoba Geological Survey. Nach dem Abfluss zeigt sich der See vor 9.900 Jahren deutlich kleiner. Zu einem Dammbruch kam es jeweils, wenn die eisigen „Staudämme“ dem Wasserdruck nicht mehr Stand halten konnten.

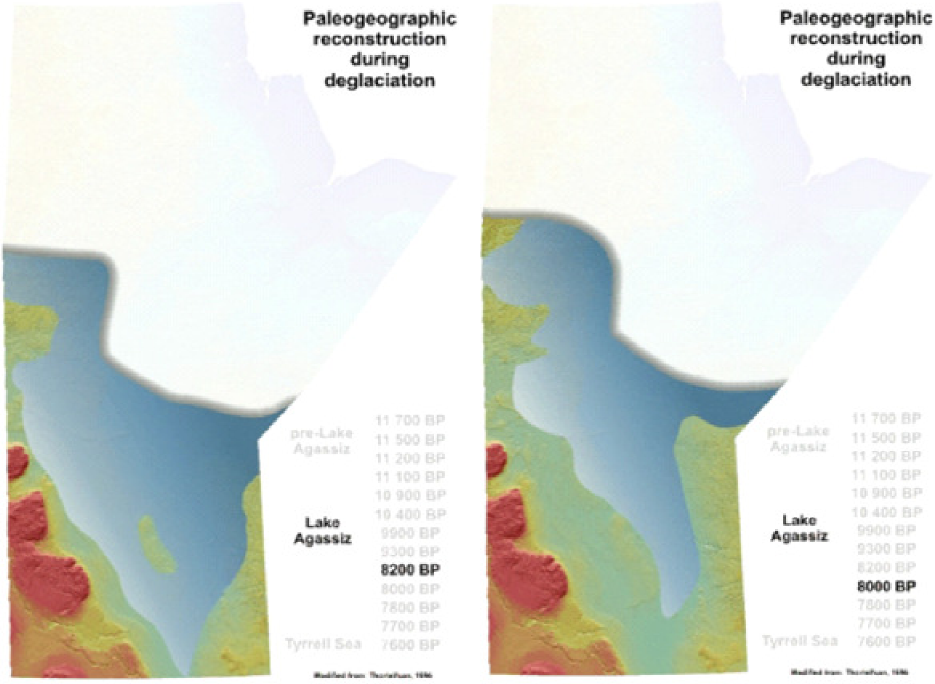


Abbildung 152 links zeigt die Situation der Agassizsee vor 8.200 Jahren. Rechts, nach dem Überlauf, 200 Jahre später, vor 8.000 Jahren. Weis: Wisconsin Eisschild, blau: Agassizsee, Quelle: Manitoba Geological Survey.

Die Abbildung zeigt, dass der Abfluss vergleichweise gering war, obwohl dieses Ereignis für den deutlichen Temperaturrückgang vor 8.200 Jahren verantwortlich sein soll und die Ereignisse davor, die teils viel heftiger waren, keinerlei Spuren in der Temperaturkurve hinterließen. Dies zeigt auch die folgende Arbeit.

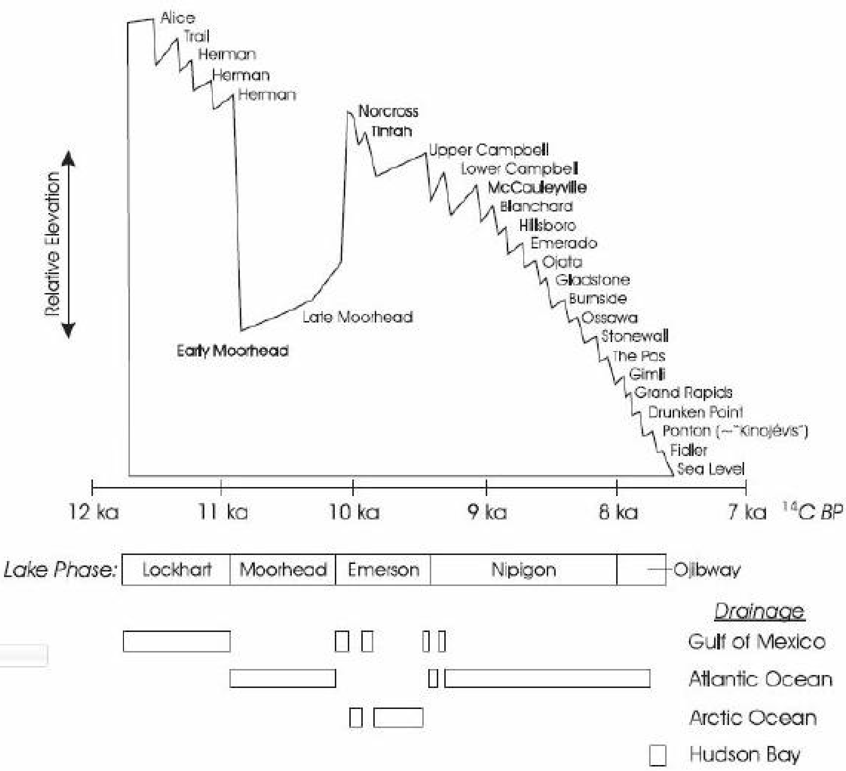


Abbildung 153, Quelle: (http://www.geostrategis.com/p_agassiz.htm) zeigt die Pegelveränderung der Agassizsee im Zeitraum von 11.700 - 7.600 BP nach Thorleifson 1996 und Teller 2001. Dazu den Abfluss der Wassermassen. Gut erkennbar, dass die vorherigen Ereignisse, insbesondere vor ca. 11.000 Jahren, deutlich stärker waren, als das 8.2k-Ereignis.

In der folgenden GISP-Temperaturreihe, die 20.000 Jahre zurückreicht, hinterlässt keines dieser schwerwiegenderen Ereignisse irgendeine Spur in der Temperaturen.

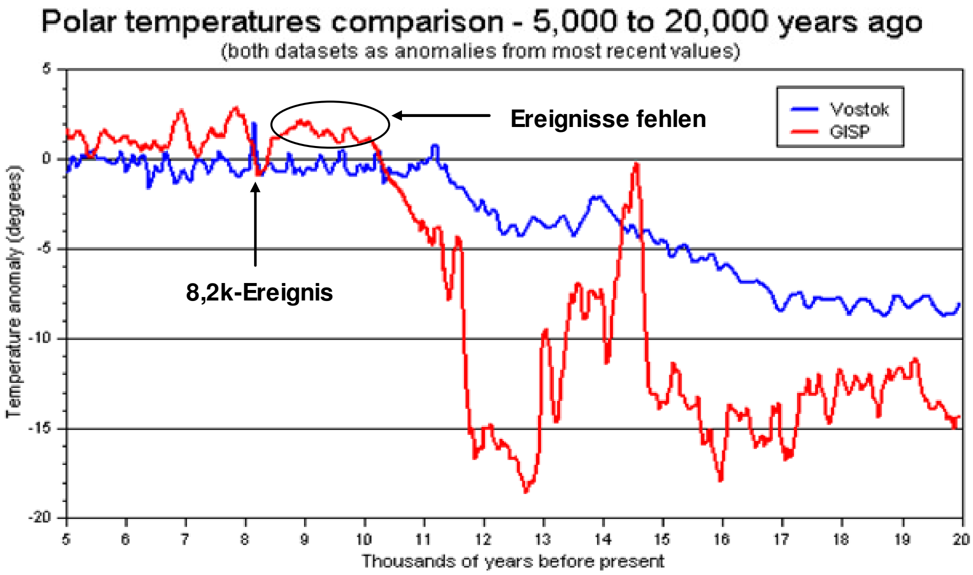


Abbildung 154, Quelle: (http://mclean.ch/climate/Ice_cores.htm), zeigt den Temperaturgang in Grönland (GISP) im Zeitraum vor 20.000 - 5.000 Jahre. Während sich das 8,2k-Ereignis deutlich abzeichnet, hat kein Überlaufen der Agassizsee davor, die deutlich heftiger ausfielen, irgendeinen erkennbaren Einfluss auf die Temperatur.

Die bisherigen Betrachtungen legen den Schluss nahe, dass mit der These des 8,2k-Ereignisses und dem postulierten Zusammenhang (sein Einwirken) mit dem Golfstrom falsch sind. Dies umso mehr, als dass die vorherigen, größeren Wassermassen, nicht fernab des Golfstroms, in die Hudson Buy einflossen, sondern direkt in den Atlantik oder gar in den Golf von Mexiko und damit dem Golfstrom sozusagen direkt in die Flanke fielen.

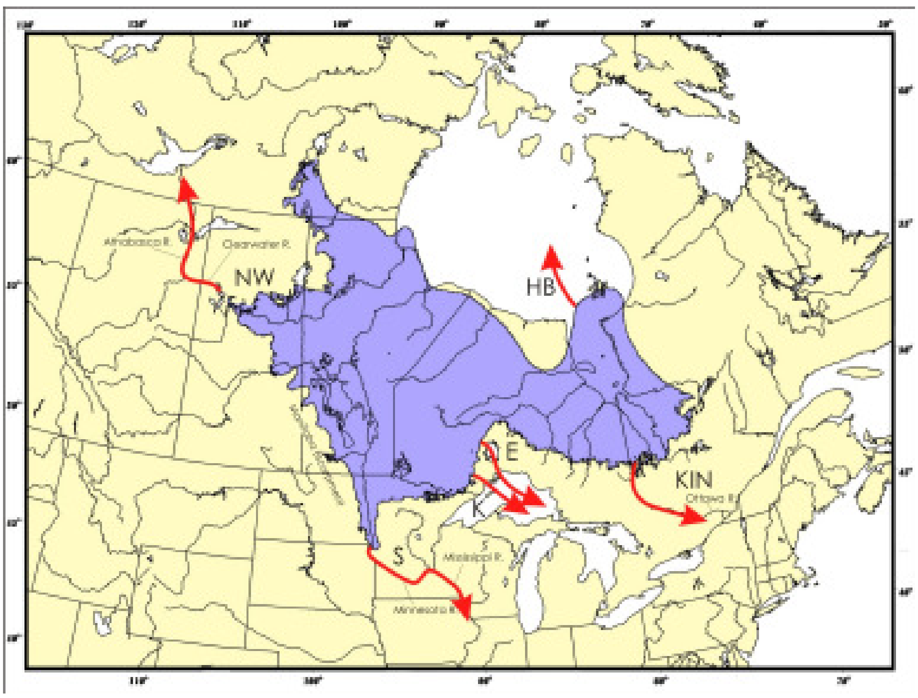


Abbildung 155, Quelle: (http://www.webpages.ttu.edu/dleverin/quaternary_envs/quaternary_environments.html) nach Leverington und Teller, 2003, zeigt das maximale Überflutungsgebiet des Agassizsees. Die roten Pfeile kennzeichnen jeweils sein abfließen. HB=Hudson Buy, KIN= Angliers and Kinojévis, S=Southern (Golf von Mexiko), K=Kaministikwia Rute, E=Eastern und NW=Northwestern-Abfluss.

Das 8,2k-Ereignis, welches dem Agassizsee zugeschrieben wird und den Golfstrom geändert haben soll und demnach in Mitteleuropa wirksam war, lässt sich auch in andere Gebieten der Erde, die nichts mit dem Golfstrom zu tun haben, nachweisen (folgende Abbildung).

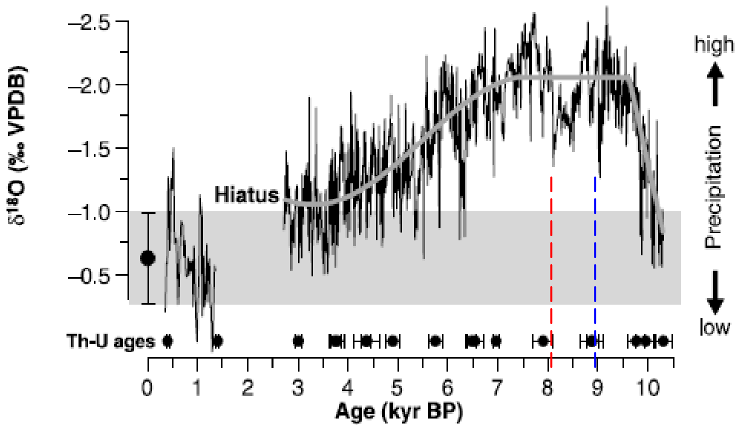


Abbildung 156, Quelle: (http://climateaudit.org/2007/09/30/dongge-cave/) zeigt die Temperaturentwicklung nach Yang et al. im Oman während des Holozäns. Deutlich ist vor 8.200 Jahren (rote Linie) ein Temperatursturz zu sehen. Vor ca. 9.100 Jahren lag ein noch heftiger Temperatursturz vor. Zu diesem Zeitpunkt gab es keinen Überlauf der Agassizsee.

Anhand der bisherigen Analysen muss der Schluss gezogen werden, dass die These zur Erklärung des 8,2k-Ereignisses falsch ist. Aber was hat dann dieses Ereignis und darüber hinaus, den Temperatursturz vor 9.100 Jahren ausgelöst? Die Antwort findet sich in der Sonnenaktivitätskurve von Prof. Solanki, MPS.

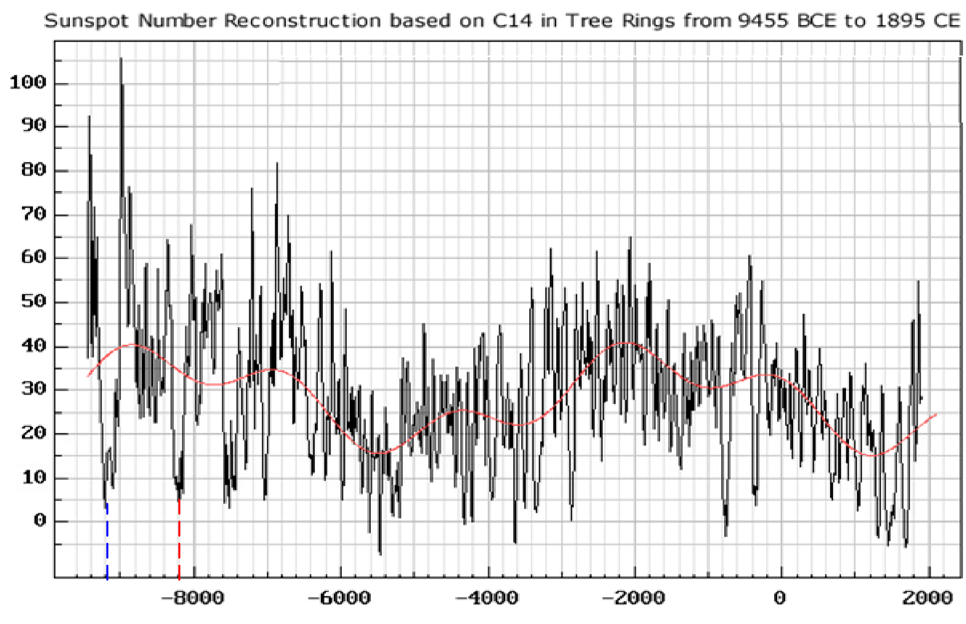


Abbildung 157 zeigt die Sonnenaktivitätskurve nach Untersuchungen von Prof. Solanki, MPS. Sowohl vor 8.200 Jahren, als auch vor 9.200 Jahren war ein starker und lang anhaltender Rückgang in der solaren Aktivität (gestrichelte Linien), der sowohl das 8,2k-Ereignis, wie auch den Temperaturrückgang vor 9.100 Jahren erklärt. Ebenso die Temperaturrückgänge vor 7.000 Jahren, 6.400 Jahren, 5.500 Jahren, u.s.w. Sie stimmt somit mit nicht nur einem, dem 8,2k-Ereignis überein, sondern mit allen Temperaturentwicklungen im Holozän. Bezeichnend übrigens, dass die solare Aktivität vor dem Überlauf der Agassizsee, der vor 8.450 Jahren stattfand, ausgesprochen hoch war, wodurch viel Schmelzwasser den Agassizsee füllen konnte.

Es war keine Verdünnung des Golfstroms mit Süßwasser, der seinen Verlauf deswegen geändert haben soll. Es war die dynamische Sonne, die den plötzlichen Temperaturrückgang

vor 8.200 Jahren hervor rief. Genauso wie die Dansgaard-Öschgar-Ereignisse, die ebenfalls starke, kurzfristige Temperaturschwankungen darstellen, auf die variable Sonne zurückzuführen sind, ist das 8,2k-Ereignis nicht auf den Agassizsee, sondern auf die Sonne zurück zuführen. Wie aber setzt die Sonne ihren Einfluss im irdischen Wetter-und Klimageschehen um? Eine Antwort findet sich im Polarfrontjet (PJF), der für das Wetter in den mittleren und hohen Breiten maßgeblich ist.

Der PFJ entsteht an der Luftmassengrenze zwischen warmer Luft und kalter Polarluft und beruht auf dem Temperatur/Druckgradienten zwischen Nord/Süd. Die größte Windgeschwindigkeit und damit der höchste horizontale Druckgradient entsteht dabei über der Polarfront. Stabile und deutliche horizontale Temperaturunterschiede (Zonalstrom) garantieren demnach einen stabilen und starken PFJ. In einer Erwärmungsphase schwächen sich bekanntlich die Temperatur- und damit Druckunterschiede (schwächerer Zonalstrom) zwischen den Tropen und den Polarzonen ab, was dazu führen sollte, dass die horizontalen Ausgleichsströmungen schwächer werden und damit auch der PFJ. Er mäandriert dann stark und seine Tröge reichen weit nach Süden. Dies hat zur Folge, dass polare Luftmassen in niedere Gebiete vordringen können und dort die Temperaturen herunterdrücken. Während einer Erwärmungsphase ist dies nicht weiter "von Belang", da die vermehrte Sonnenaktivität das Temperaturniveau schnell wieder anhebt und Warmluft die eingeströmte Kaltluft ersetzten kann.

Der PFJ sollte demnach in einer Erwärmungsphase schwächer werden. Lässt die Sonnenaktivität wieder deutlich nach, wie z.B. nach jedem Hauptsonnenzyklus, oder vor dem 8,2k-Ereignis, so ist zunächst einmal der PFJ schwach, da der Temperaturgradient nach wie vor (Wassermassen) gering ist. Einfallende Kaltluftmassen durch den stark mäandrierenden PFJ können nun nicht mehr schnell genug erwärmt werden, was zu einer deutlichen und schnellen Abkühlung führen sollte. Dies würde z.B. erklären, warum nach jedem Hauptsonnenzyklus binnen weniger Jahre die Temperaturen stark fallen und die Temperaturschwankungen vergleichsweise hoch sind. Der Rückgang der Temperaturen hat demnach nichts mit einer Veränderung des Golfstroms, wohl aber mit einer Veränderung des PFJ und der Luftströmungen zu tun, da die Sonnenaktivität seinerzeit vergleichweise hoch war und der PFJ entsprechend schwach war. Dies passt dann auch zu den regionalen Temperaturen bei uns, wie in der folgenden Abbildung zu sehen. Die geänderten Luftströmungen, durch den PFJ führten zu einer schnellen und deutlichen Abkühlung, wie sie durch träge Wassermassen oder Fließsysteme wie den Golfstrom nicht herbeigeführt werden können.

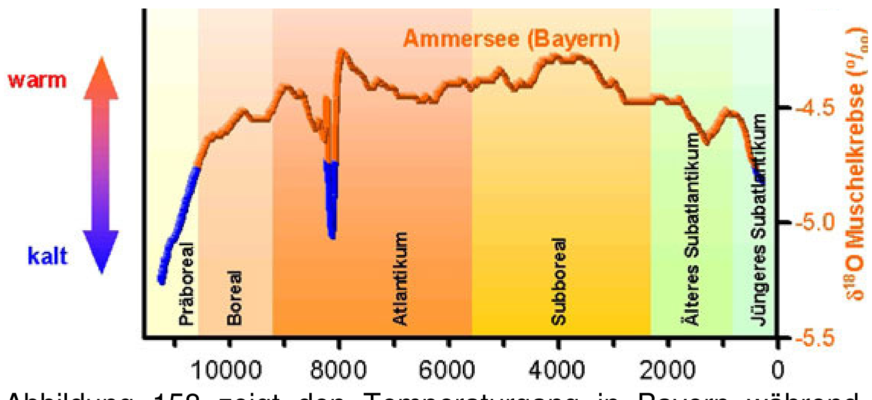


Abbildung 158 zeigt den Temperaturgang in Bayern während des Holozäns, anhand von Sedimentuntersuchungen am Ammersee. Vor 8.200 Jahren war Süddeutschland von einem Kälteeinbruch betroffen. Dieser Kälteeinbruch geht nach Ansicht des Autors nicht auf Änderungen am Golfstrom, sondern auf die variable Sonne und mit ihr auf Änderungen in den Luftströmungen zurück.

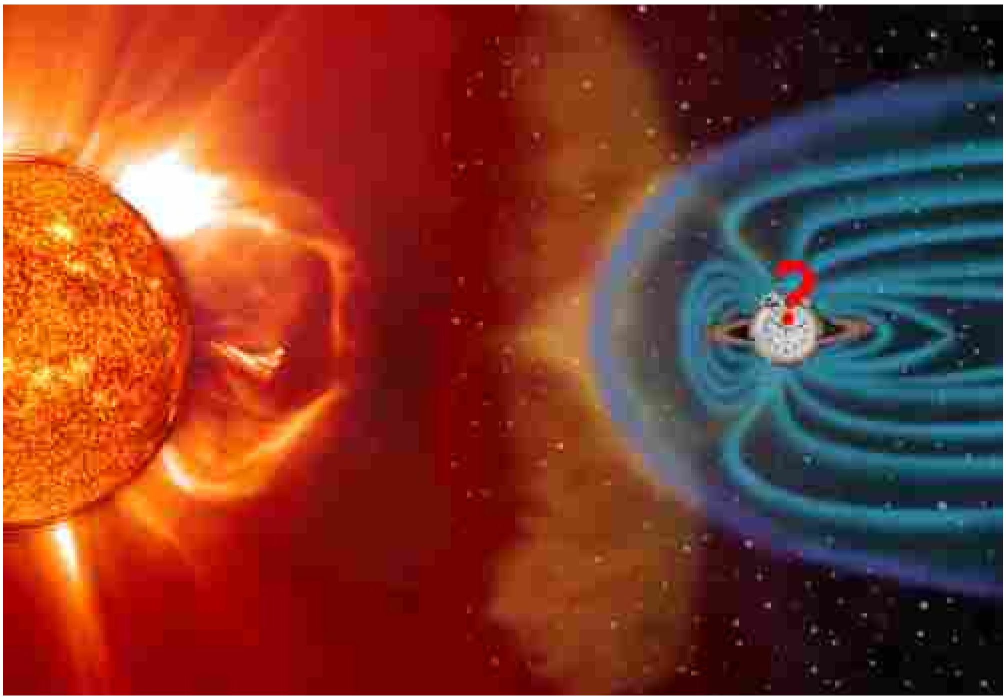
Raimund Leistenschneider - EIKE

Teil 7 in Kürze

Dynamisches Sonnensystem – die tatsächlichen Hintergründe des Klimawandels

Wie seit langem bekannt, hat die kosmische Strahlung, deren Einwirken auf die Erde durch die Aktivität der Sonne bestimmt wird, einen bedeutenden Einfluss auf die untere Wolkenbedeckung und damit auf unser Wetter/Klima – Svensmark-Effekt. Das CERN hatte jüngst erstmals im Labor diesen Einfluss bestätigt und damit den Svensmark-Effekt als richtig bestätigt. In allen Temperaturmodellen ist dieser Einfluss auf die Wolkenbedeckung, der maßgeblich für unser Wetter und damit das Klima ist, nicht berücksichtigt. Schon allein aus diesem Grund sind sämtliche Klimaszenarien des IPCC falsch. Nicht umsonst wurde in den vergangenen Jahren von den Zuarbeitern des IPCC, wie dem PIK, alles daran gesetzt, diesen indirekten Einfluss der Sonne zu verneinen und zu zeigen, dass es ihn nicht gäbe. Nun, durch die Ergebnisse des CERN befindet sich diese Diskussion auf einer anderen Ebene. Es geht nun nicht mehr um das „ob“, sondern, um das „wie viel“. Über den bekannten Svensmark-Effekt hinaus, gibt es weitere, unmittelbare Einflusse der Sonne auf die Wolkenbedeckung und damit auf Klima und Extremwettereignisse wie die Hurrikan- und Tornadoaktivität. Dies ist Inhalt von Teil 7.

Teil 1 – Die Sonne bestimmt den Temperaturgang
Teil 2 – Die Sonne, der faszinierende Stern
Teil 3 – Sonnenflecken und ihre Ursachen
Teil 4 – Die Sonnenatmosphäre, Korona, Heliosphärische Stromschicht, interplanetares Magnetfeld
Teil 5 – Die variable Sonne
Teil 6 – Der Einfluss der Sonne auf unser Wetter/Klima
Teil 7 – Der Einfluss der Sonne auf die Wolkenbedeckung über Svensmark hinaus
Teil 8 – Zukünftige Temperaturentwicklung und deren Schwankungen


Abbildung 0

Teil 7 – Der Einfluss der Sonne auf die Wolkenbedeckung über Svensmark hinaus

Der Einfluss der kosmischen Strahlung auf die Temperatur zeigen die Abbildungen 148 und 149, Quelle: Science, Vol. 309, S. 2017-2024, 23. September 2005. Die Übereinstimmung der geglätteten Kurven ist dabei frappierend.

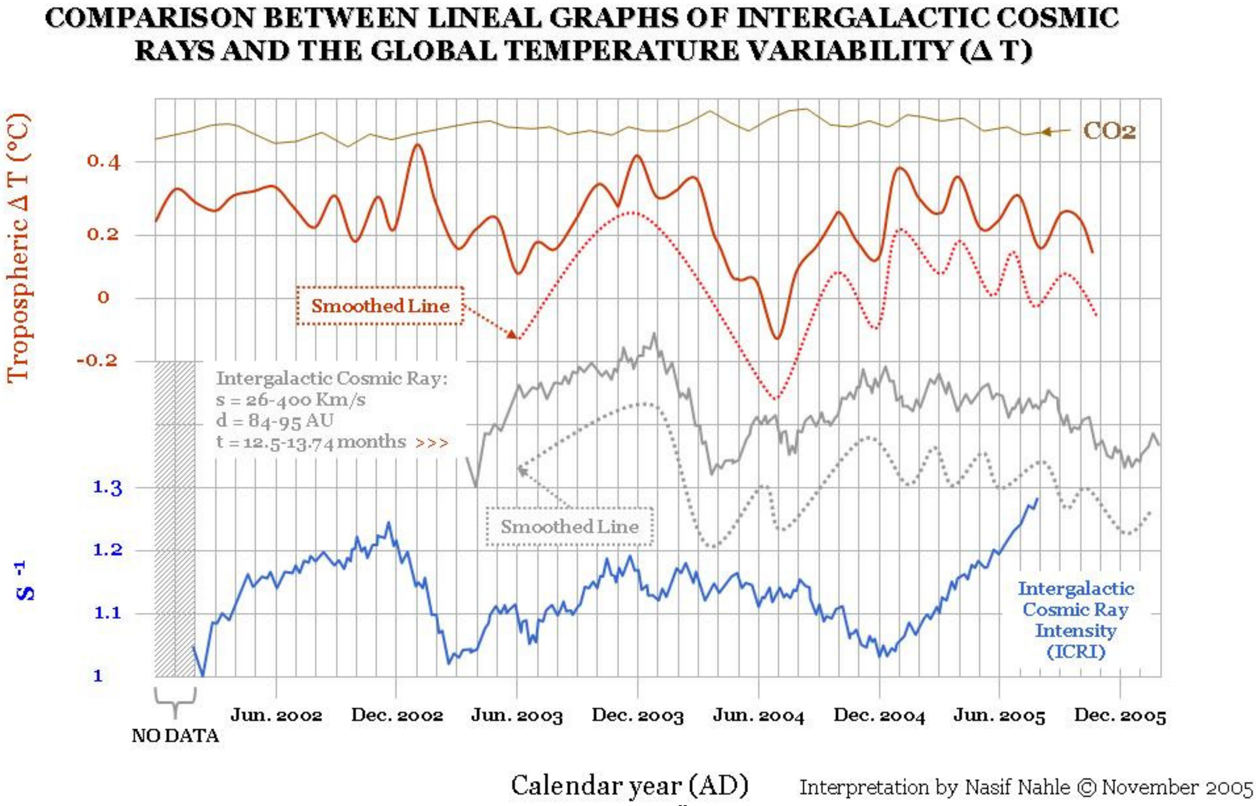


Abbildung 159: Die Abbildung zeigt eine deutliche Übereinstimmung der Temperatur mit der kosmischen Strahlung. Unnötig zu erwähnen, dass auch hier keinerlei Korrelation der Temperatur mit der globalen CO_2-Kurve besteht.

Abbildung 160 zeigt die Temperaturkurve (ΔT) der unteren Troposphäre zur kosmischen Strahlung im Zeitraum von Dezember 2001 bis August 2006. Deutlich erkennbar, dass nicht nur der geglättete langjährige Trend (gepunktete Linie), sondern auch die Minima und Maxima übereinstimmen. Die Abbildung wurde am 21. Oktober 2007 zu der ersten Abbildung hinzugefügt.

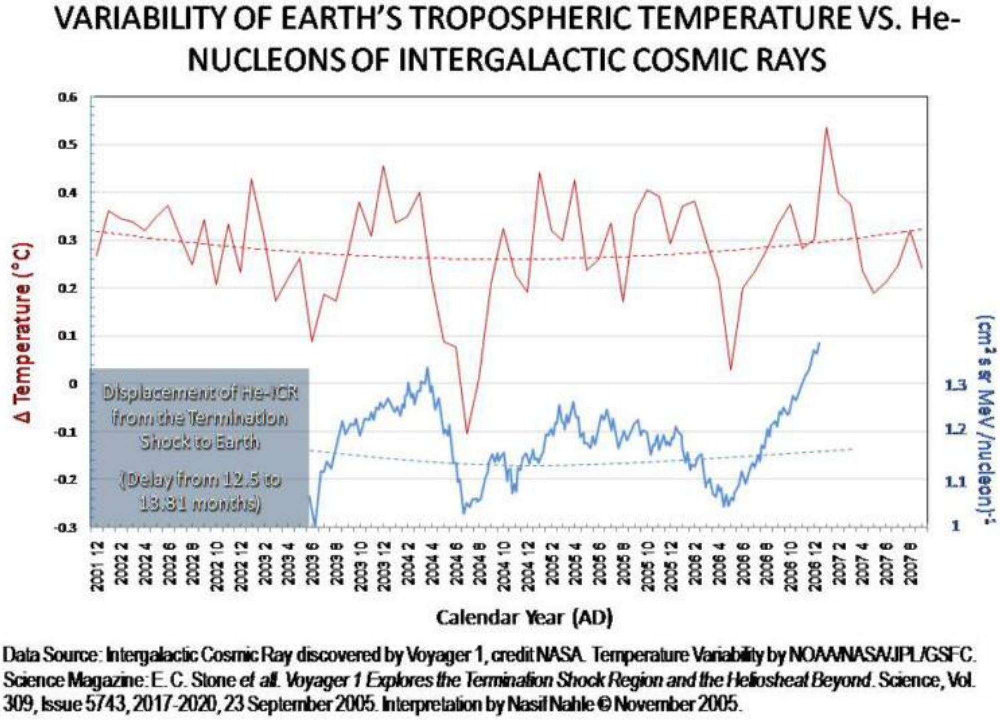


Abbildung 160

Zu Beginn soll die Wirkung skizziert werden, über die die Sonne auf die Erdatmosphäre unmittelbar Einfluss nimmt und somit den Zustand in der Atmosphäre ändert, was unmittelbaren Einfluss auf Wetter und Klima ausübt. Die entscheidende Rolle dabei spielen el. geladene Aerosolpartikel in der Atmosphäre, die unmittelbar durch HCS (Heliosphärische Stromschicht und Interplanetarischem Sonnenwind moderiert werden.

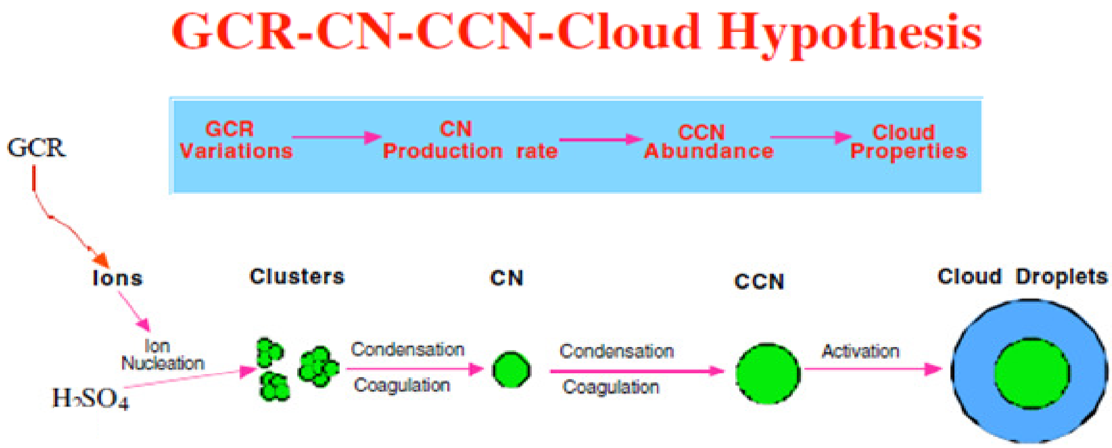


Abbildung 161, Quelle: Fangqun Yu, Atmospheric Sciences Research Center, State University of New York, "Cosmic Rays, Particle Formation, Natural Variability" zeigt den Beginn des Wolkenentstehungsprozesses. Durch die kosmische Strahlung werden Luftmoleküle ionisiert, also el. geladen. Mit Schwefeldioxid, welches sich in der Atmosphäre befindet, entsteht in mehreren chemischen Schritten ionisierte Schwefelsäure. Diese bildet mit „normaler" Schwefelsäure und Wassermolekülen Clusterionen. Die Ladung (negativ) des Clusters erleichtert (bis um den Faktor 10) die Anlagerung von weiteren neutralen Molekülen. Dadurch kann sich ein sog. kritischer Cluster bilden. Durch die Anlagerung von weiteren Molekülen entsteht ein Aerolsolpartikel. Ab einer bestimmten Größe (100 nm) bildet sich ein Kondensationskeim für die Tröpchenbildung.

Es ist bekannt, dass Schwefelaerosole, insbesondere Schwefelsäure Temperatur, Druck und Dichte in den Atmosphärenschichten beeinflussen. Hierzu kommt ein weiterer Parameter, die Ionendichte. Verursacht durch z.B. kosmische Strahlung entstehen Ionen, elektrisch geladene Atome, die z.B. in der Atmosphäre vorhandene Schwefelsäure zu Clustern zusammenbilden. Diese Cluster sind die Ausgangsbasis für Kondensationskerne (CN = condensation nuclei).

Eine Zunahme dieser Nanopartikel bewirkt, dass sich die Wolkenkondensationskeime (CCN = cloud condensation nuclei) vermehren, weil sich Wasserdampf an diese gut binden kann. Hierdurch entstehen kleine Wassertröpfchen (cloud droplets). Weiter ist seit dem Erfinder der Nebelkammer, **Charles Thomson Rees Wilson** bekannt, dass Ionen von Sauerstoffmolekülen, sofort von Wassertropfen umschlossen werden. In der unteren Atmosphäre sind dies die Keimzellen für Regentropfen.

Erdboden und Atmosphäre besitzen unterschiedliche el. Potentiale. Daher besteht ein permanentes Potentialgefälle. Die Angaben in der Fachliteratur schwanken zwischen 250 kV und 500 kV. Es gibt demnach eine Vielzahl und freien Ladungen in der Atmosphäre. Der bekannteste Ladungsausgleich findet durch Blitze statt.

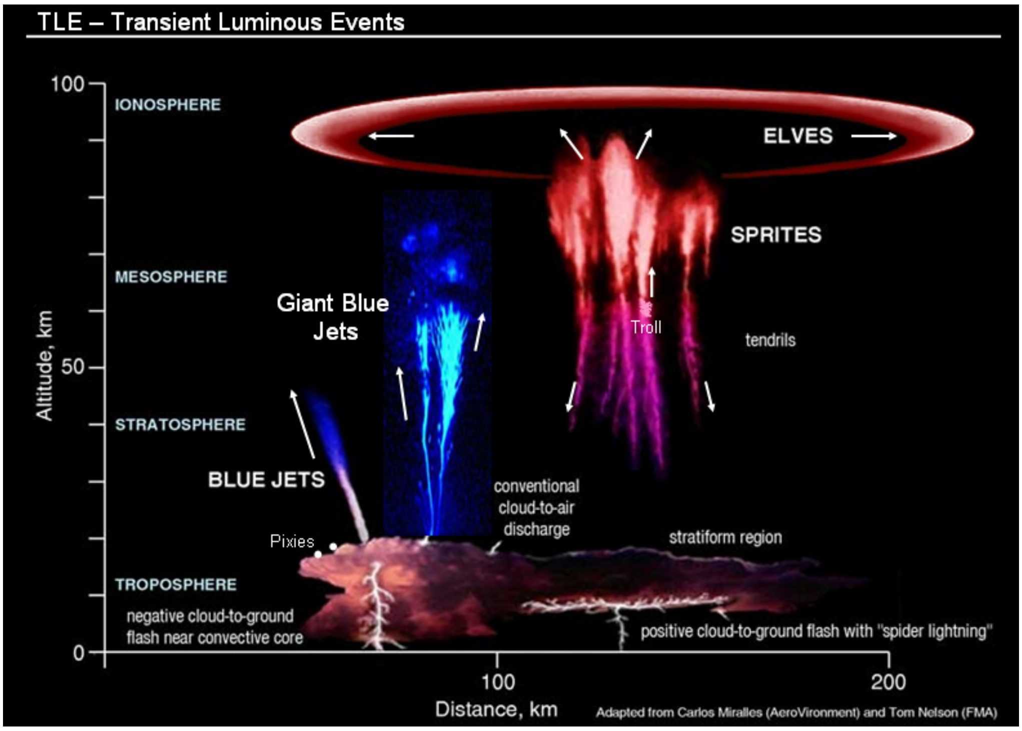
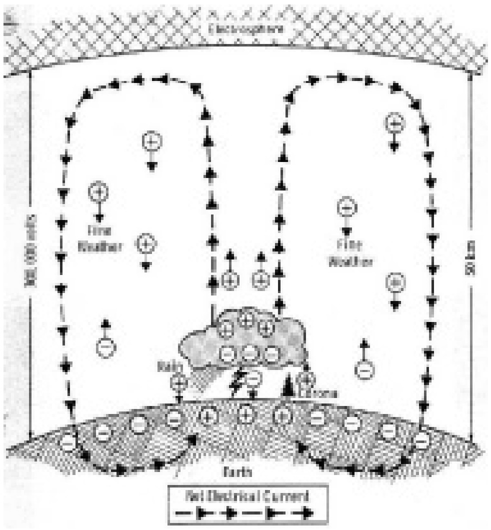


Abbildung 162: Elektrische Entladungen in der unteren Troposphäre, wie Blitze, oder in der Stratos- und Mesosphäre in Form von Blue Jets und Red Sprites sind nur die sichtbaren Erscheinungen für Elektrizität in der Erdatmosphäre. Damit es überhaupt dazu kommen kann, muss es freie elektrische Ladungen geben, durch deren örtliche Konzentration sichtbare Ausgleichströme entstehen, Quelle: “Red Sprites und Blue Jets“, Jens Oberheide, Bergische Universität Wuppertal.

Die Ionisation in der oberen Atmosphäre (Ionosphäre, elektrisch leitfähige Schicht) entsteht durch die Absorption der UV-Strahlung der Sonne durch die Luftmoleküle und Atome in der Ionosphäre. Durch das Herausschlagen der Elektronen durch die energiereiche UV-Strahlung entsteht eine positive Potentialschicht. Fachlich spricht man von “Ausgleichsschicht“, die der negativen Potentialschicht, dem Erdboden, gegenüber steht. Erdboden und Ionosphäre, beide elektrisch gut leitend, wirken wie ein Kugelkondensator, mit einem Dielektrikum, der Atmosphäre dazwischen. In diesem Dielektrikum findet ein ständiger Potentialfluss, der durch die Raumladungen und den Ladungstransport geprägt ist, statt. Im englischen wird dieser Potentialfluss “Global Electrical Circuit“ genannt, folgende Abbildungen.



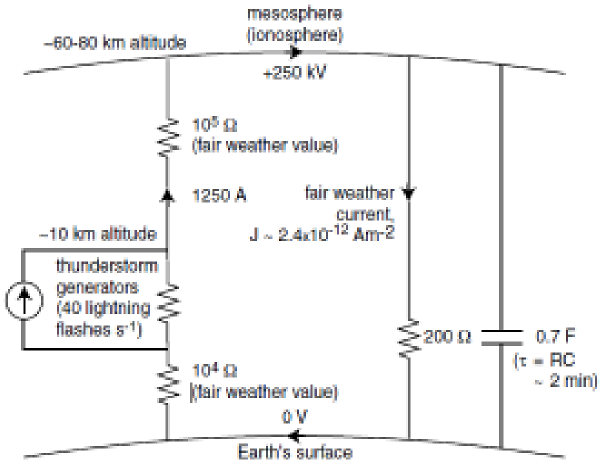


Abbildung 163 links, Quelle: (http://www.meteo.psu.edu/~verlinde/meteo437/figures437.html) zeigt den globalen elektrischen Kreislauf in der Atmosphäre und dem Erdboden. Die Abbildung rechts dessen elektrisches Ersatzschaltbild, Quelle: (http://www.slac.stanford.edu/cgi-wrap/getdoc/slac-wp-020-ch11g-Kirkby.pdf).

Das gezeigte elektrische Feld ist üblicherweise nach unten gerichtet. Nur bei Schlechtwetter-fronten (z.B. Gewitter) ist das Feld nach oben gerichtet, weshalb von einem "Schönwetterfeld" der Erde gesprochen wird. Die Feldstärke beträgt in Bodennähe ca. 150 V/m und nimmt mit der Höhe rasch ab. Anhand von Ballonmessungen beträgt seine Feldstärke in 10 km-Höhe nur noch 5 V/m. Die Abnahme der Feldstärke kann nur darauf beruhen, dass in der Atmosphäre Raumladungen vorhanden sind, die zu dem Feld parallel verlaufen. Das resultierende Feld ist das Maß für die Feldstärke.

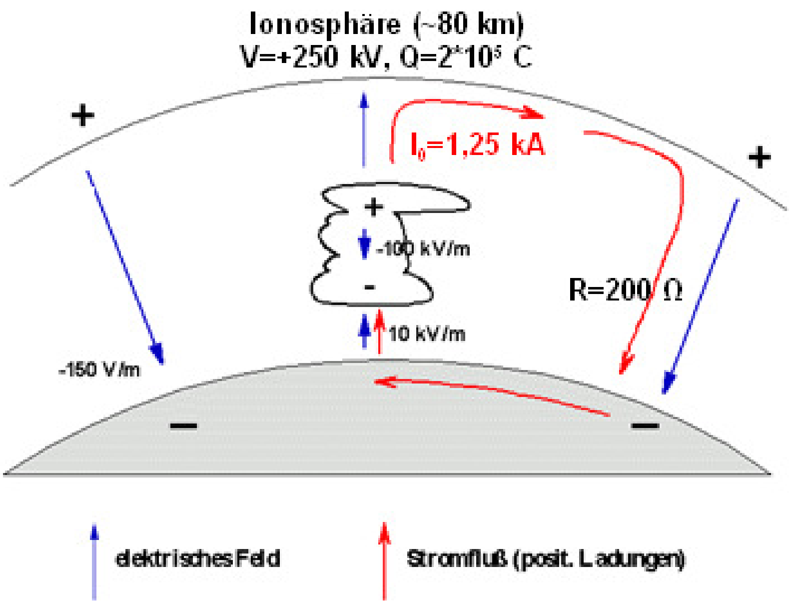
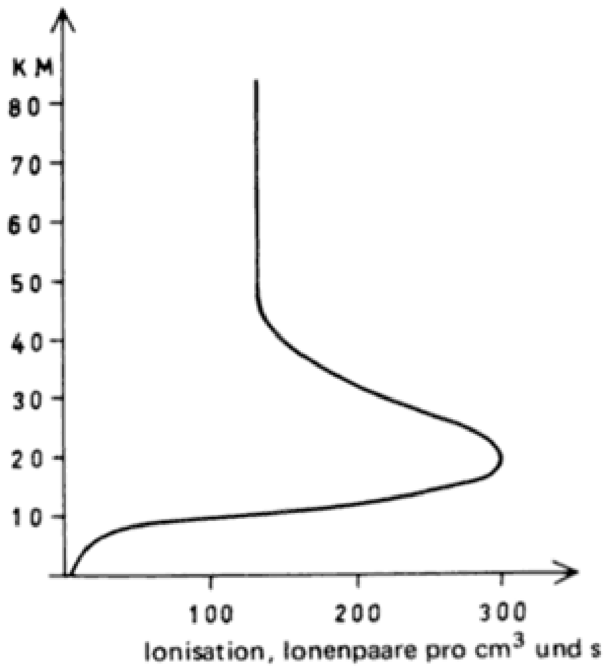


Abbildung 164: Wie bei einer angelegte Spannung an einem Kondensator, fließt zwischen der Ionosphäre und dem Erdboden ein gerichteter Ausgleichsstrom, der "Vertikalstrom". Er ist gering und hat im Schönwetterfeld Werte von einigen Piko A/m^2, die bei Schlechtwetterlagen um Größenordnungen ansteigen und von kurzer Dauer sind. Nach Angaben des Instituts für Atmosphärenphysik der Bergischen Universität Wuppertal liegt der Gesamtstrom aus Gewittern bei 1.250 Ampere. Über längere Zeitskalen ist die Elektrizitätsbilanz ausgeglichen, so dass es nicht zu einer Aufladung z.B. des Erdbodens kommt.

Welche weiteren Prozesse, als die energiereiche UV-Strahlung der Sonne führen zu Ladungsträgern (Ionen, Elektronen) in der Atmosphäre. Dies sind, wie bereits gezeigt, die kosmische Strahlung, die in der Stratos- und Troposphäre Luftmoleküle ionisieren und dies sind

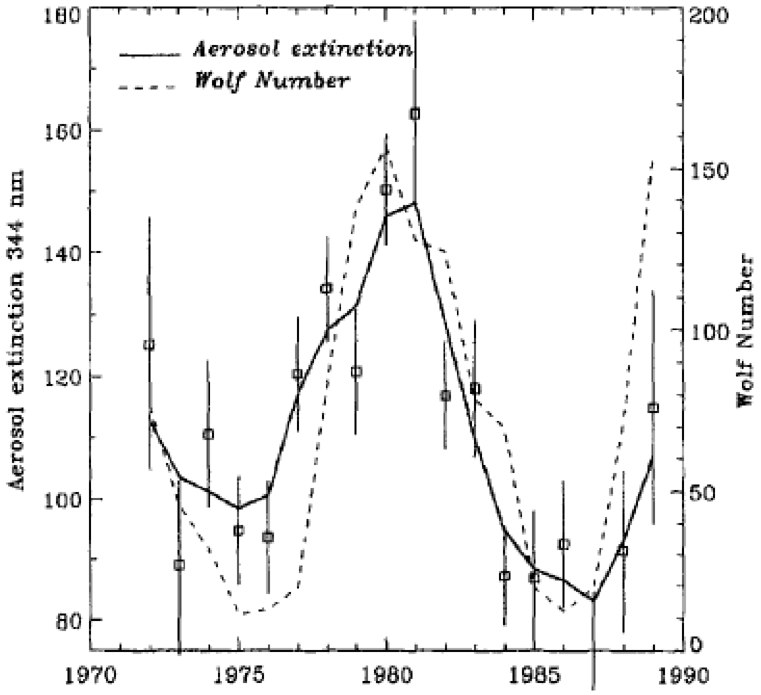
Turbolenzen in Luftschichten (z.B. Gewitterwolken), bei denen durch Zusammenstöße Elektronen herausgelöst werden.

Darüber hinaus hat **Prof. Galembeck** (University of Campinas, Brasilien) herausgefunden, dass sich feuchte Luft elektrisch auflädt, wenn sie sich in der Atmosphäre an Staubteilchen (Aerosole) anlagert. Das Wasser in der Atmosphäre wird durch diesen Prozess elektrisch aufgeladen und zwar positiv, wie negativ, je nach Staubpartikel. Die Forscher nennen diesen Prozess Hygroelektrizität.



Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass in der Atmosphäre durch unterschiedliche Prozesse ständig elektrische Ladungsträger entstehen, die als el. geladene Aerosolpartikel die Wolkenbedeckung und die Wetterlage beeinflussen. El. geladene Aerosolpartikel sind als Konstellationskeime bis zu 10-mal wirkungsvoller als ungeladene. Wie die Abbildung 165 zeigt, Quelle: Allgemeine Meteorologie (3. Auflage), Gösta H. Liljequist, Konrad Cehak, entstehen insbesondere in der unteren Stratosphäre und oberen Troposphäre durch die kosmische Strahlung Ionenpaare. Obere Troposphäre und untere Stratosphäre ist der Höhenbereich, in der der JET-Stream die Großraumwetterlage auf der Nordhalbkugel maßgeblich beeinflusst. Es ist daher nicht abwegig, dass eine Modulation der elektrischen Partikel in der Atmosphäre durch direkte oder indirekte Sonneneinflüsse, sowohl die Großraumwetterlage (Jet), als auch das örtliche Wettergeschehen (Wolkenbedeckung) beeinflusst.

Dies in den Bereichen des Jetstream umso mehr, da hier nicht nur die Ionendichte stark zunimmt, sondern wegen des geringeren Druckes (geringere Kollisionswahrscheinlichkeit) die Ionenbeweglichkeit zunimmt, sowie dadurch bestimmt, auch deren Lebensdauer vergrößert wird. Diese elektrisch geladenen Partikel sind grundsätzlich über ein äußeres Potentialfeld oder einen angelegten Strom zu beeinflussen.



Wie Abbildung 166, Quelle: V.C. Roldugin und G.V. Starkov, “Dependence of Atmospheric Transparency Variations on Solar Activity” (Polar Geophysical Institute, Apatity, Russland) belegt, gibt es einen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Sonnenfleckenzahl (Wolf-Zahl) und der Aerosolschwächung (Index) im Wellenlängenbereich zwischen 344 und 369 nm. Die Aerosolbildung schwankt direkt mit der solaren Aktivität. Je stärker die Sonnenaktivität, desto mehr geht die Aerosolentwicklung zurück. Diese Arbeit ist konform zum Svensmark-Effekt, der fordert, dass durch verstärkte kosmische Strahlung die Wolkenbedeckung zunimmt, weil die Ionenentstehungsrate und damit die Anzahl der Kondensationskeime für Regentropfen zunimmt.

Auch die elektrische Leitfähigkeit der Atmosphäre, sowie die Blitzanzahl variieren mit der kosmischen Strahlung, Abbildung 167, Quelle: (http://www.slac.stanford.edu/cgi-wrap/getdoc/slac-wp-020-ch11g-Kirkby.pdf).

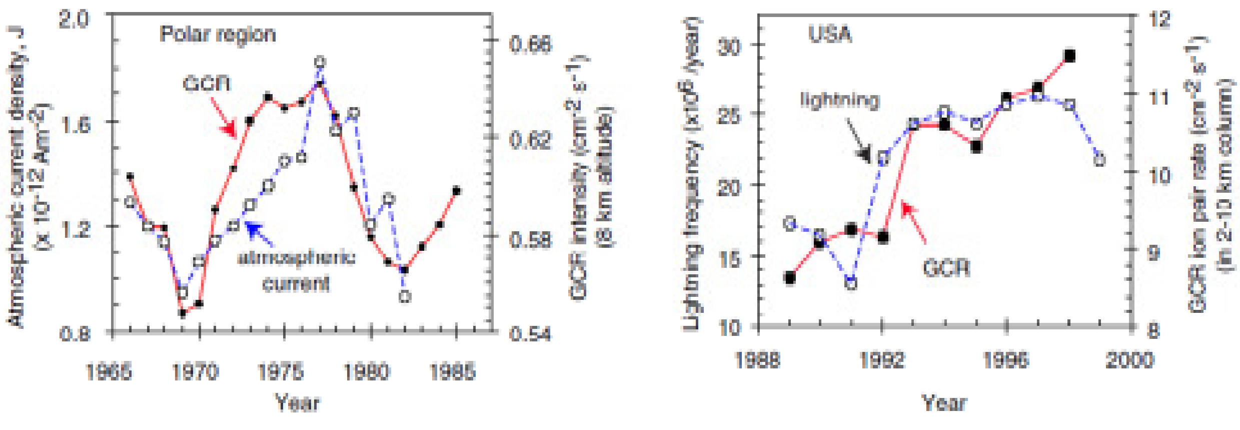


Abbildung 167 links zeigt die Schwankungen des Vertikalstromes zu der kosmischen Strahlung (GCR) in der Polarregion und die Abbildung rechts die Blitzhäufigkeit pro Jahr in Abhängigkeit zur GCR in den USA. Sowohl der Vertikalstrom, als auch die Blitzhäufigkeit schwanken mit der kosmischen Strahlung.

Wie sehr elektrische Effekte in der Atmosphäre die Kondensationsbildung und damit die Regenmenge steuern, wird bei einem Forbush-Ereignis (nach dem Geophysiker Scott E. Forbush, der den Effekt entdeckte) sichtbar, wenn die Erde kosmische Strahlung von der Sonne trifft. Man spricht dabei von einem SCR-Ereignis (**S**olar **C**osmic **R**ay), bei dem es sich um hochenergetische Protonen handelt. Ein Forbush-Ereignis ist ein plötzlicher Abfall der kosmischen Strahlung nach einem solaren Ausbruch, da durch erhöhte Sonnenaktivität der Sonnenwind die kosmische Strahlung von der Erde ablenkt.

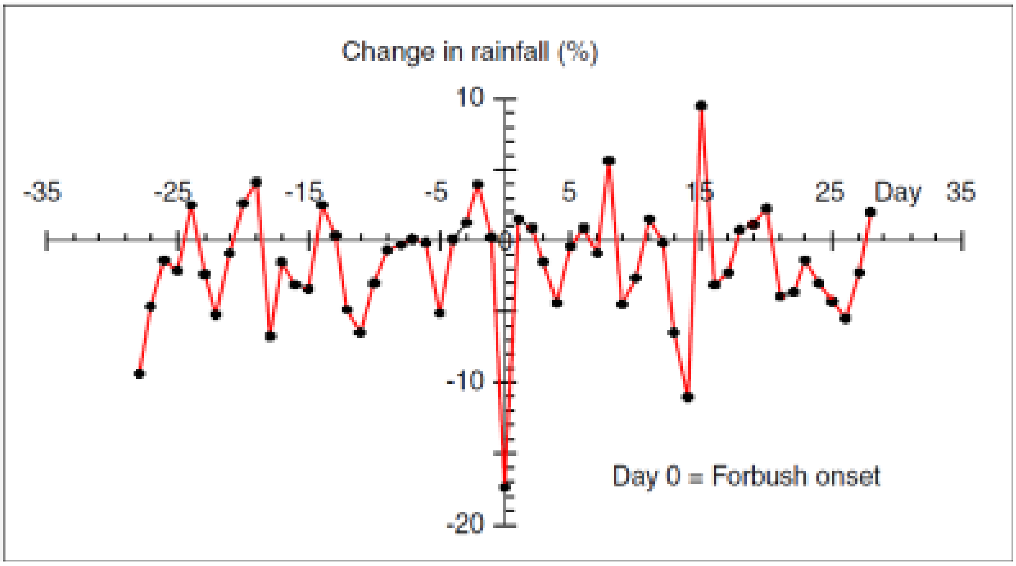


Abbildung 168 zeigt den Rückgang bei Regen während einem Forbush-Ereignis. Deutlich zeigt sich, dass die Niederschlagsmenge stark zurückgeht, was darauf zurückzuführen ist, dass weniger elektrisch geladene Aerosole für Regentropfen zur Verfügung stehen. Quelle: http://www.slac.stanford.edu/cgi-wrap/getdoc/slac-wp-020-ch11g-Kirkby.pdf

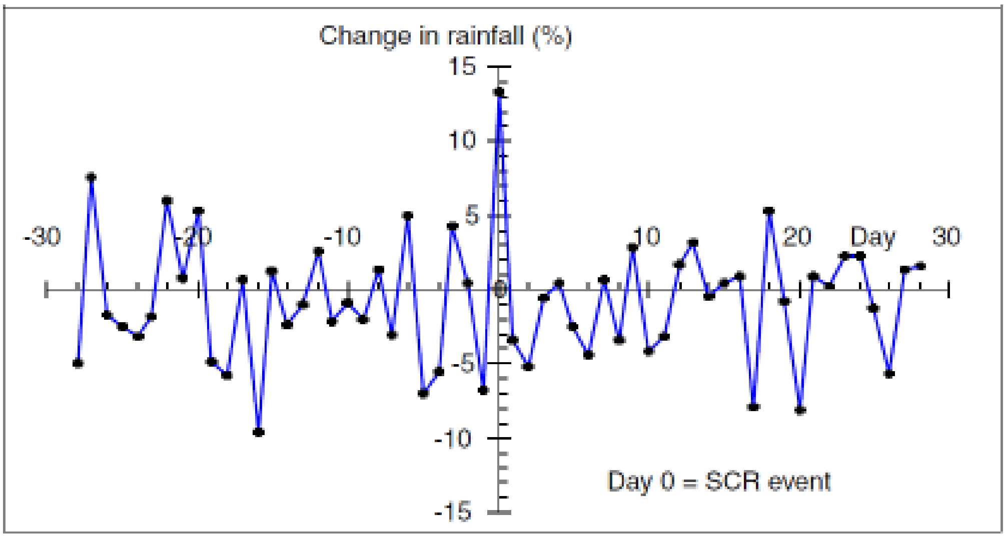


Abbildung 169 zeigt die Änderung des Regenfalls während eines SCR-Ereignisses (Quelle wie oben). Es zeigt sich, dass die Regenmenge deutlich zunimmt, was auf die zunehmende Ionisation in der Atmosphäre und dadurch, eine Zunahme von elektrisch geladenen Aerosolpartikeln zurückzuführen ist.

Die gezeigten Untersuchungen untermauern, dass es in der Atmosphäre eine Vielzahl elektrisch geladener Aerosole gibt, sowie, dass sich Wasser in der Atmosphäre elektrisch aufládt und durch Veränderung der elektrischen Parameter in der Atmosphäre das Wetter beeinflusst wird. Die Beeinflussung kann niemals durch CO_2 kommen – hierfür gibt es keine physikalische Grundlage, sondern nur von der Sonne.

Aus der folgenden Abbildung wird ersichtlich, wie die Sonnenaktivität (am Beispiel des aa-Index) den Luftdruck in der Atmosphäre in den Tropen grundsätzlich ändert.

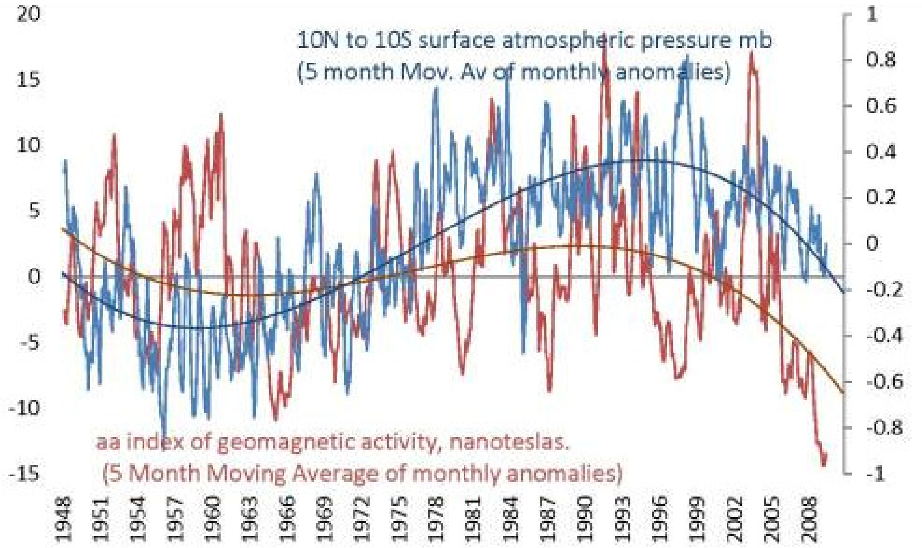


Abbildung 170, Quelle: (http://climatechange1.wordpress.com/2009/11/08/the-climate-engine/) zeigt die Schwankungen des aa-Index im Zeitraum von 1948 - 2009 (rot) und dazu die Schwankungen des bodennahen Luftdrucks in den Tropen (blau). Deutlich ist zu sehen, dass beide zusammenhängen, die solare Aktivität den Luftdruck in den Tropen und damit das Wetter moderiert – Luftdruckunterschiede treiben bekanntlich das Wetter an. Der geglättete Trend entspricht dem Gleißberg-Zyklus.

Abbildung 171 zeigt, wie der aa-Index durch die Sonnenaktivität, dem Schwabe-Zyklus und dem Anstieg des de Vries-Suess-Zyklus im 20. Jahrhundert bestimmt wird.

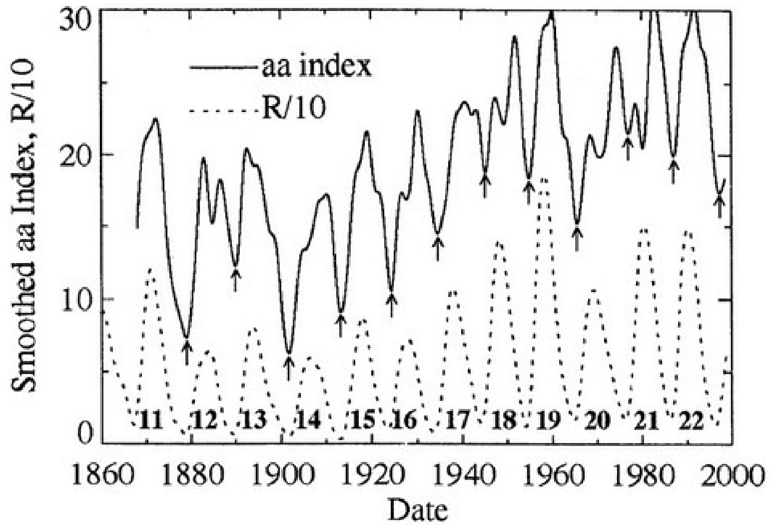


Abbildung 171, Quelle: Hathaway et al. 1999 "A synthesis of solar cycle prediction techniques, Journal of Geophysical Research, 104 (A10), 22375-22388 DOI: 10.1029/1999JA900313, zeigt den aa-Index und den Schwabe-Zyklus (gepunktete Linie). Deutlich ist dieser im aa-Index abgebildet. Im 20. Jahrhundert steigt dieser parallel zum de Vries/Suess-Zyklus stark an.

Inwieweit die magnetische Aktivität der Sonne und die Polarität des solaren Magnetfeldes die Parameter des irdischen Wettersystems lenken, zeigt Abbildung 163, die die Wolkenbedeckung nach Daten des **I**nternational **S**atellite **C**loud **C**limatology **P**roject (ISCCP) zeigt.

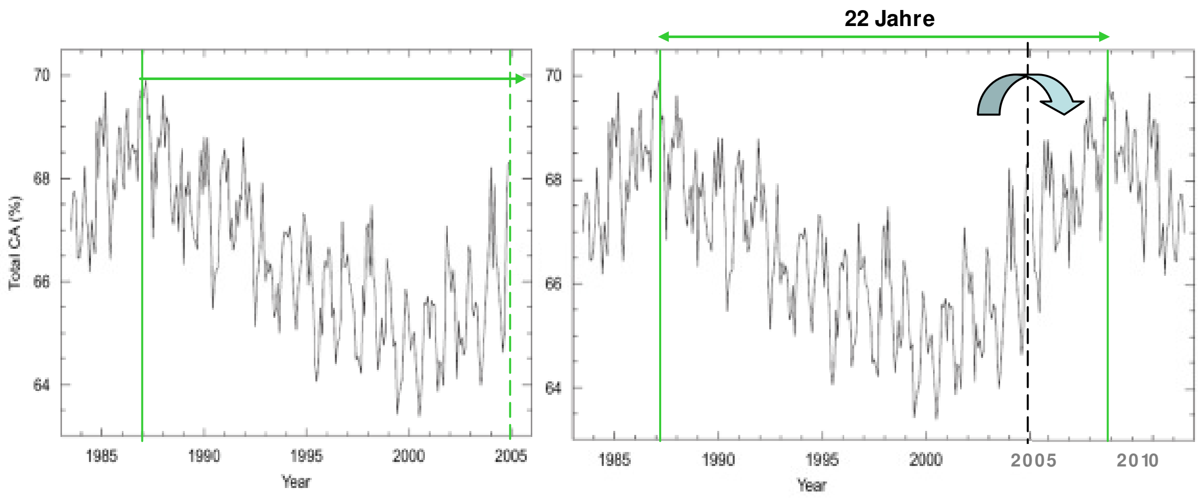


Abbildung 172 links zeigt die globale Wolkenbedeckung von Juli 1983 - Juni 2005, nach Daten des ISCCP, (http://www.leif.org/research/cloud-cover.png). Die Abbildung stammt aus der Arbeit von Evan et al. “Arguments against a physical long-term trend in global ISCCP cloud Amounts“. Bereits die linke Abbildung zeigt eine periodische Schwingung von größer 18 Jahren (grüner Pfeil). Dass Kurvenminimum liegt im Maximum des 23. Schwabe-Zyklus im Jahr 2000. Rechts ist der Kurvenverlauf an der gestrichelten Linie gespiegelt und ab 2005 angesetzt. Dabei wurde darauf geachtet, dass das Verhältnis zwischen Anstieg und Rückgang im Schwabe-Zyklus etwa 2 zu 3 beträgt (die Anstiegszeit ist nicht exakt fix, sondern davon abhängig, wie stark der kommende Zyklus ist – starker Zyklus = schnelle Anstiegszeit, schwacher Zyklus = langsame Anstiegszeit, insofern stellt das Verhältnis 2 zu 3 einen Mittelwert dar). Das Maximum der globalen Bewölkung hängt in eindeutiger Weise vom Hale-Zyklus (Polaritätszyklus der Sonne) und damit von der Polarität des magnetischen Sonnenzyklus ab.

Nun kann natürlich angeführt werden, dass es sich bei der obigen Spiegelung nicht um tatsächlich gemessene Werte handelt, aus denen eine Zykluszeit abgeleitet werden könnte. In der Tat zeigen die Messungen bis 2008 (dann wurde das Projekt IPCCP geschlossen und weitere Daten liegen dem Autor nicht vor), dass die Wolkenentwicklung ab 2005 nicht wieder ansteigt, sondern niedrig bleibt.

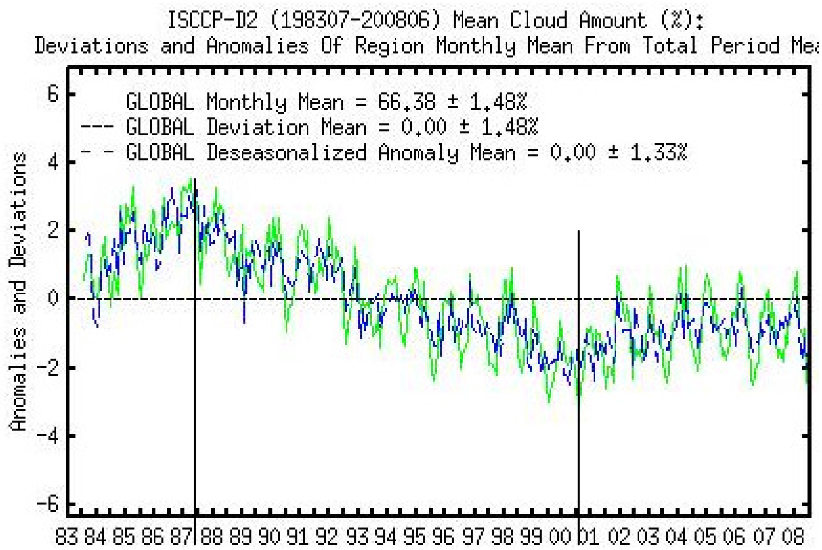


Abbildung 173 (http://isccp.giss.nasa.gov/climanal1.html) zeigt die gesamte Datenreihe der globalen Wolkenbedeckung bis 2008. Während die Wolkenbedeckung von ihrem Minimum in 2000 bis zum Jahr 2004 wieder ansteigt, bleibt sie dann auf diesem Level und steigt nicht weiter an. An den schwarzen senkrechten Linien dreht jeweils die Tendenz der Wolkenbedeckung, sie stimmt überein mit der Drehung des Polarfeldes der Sonne (Abbildung 174).

Wie passt dies nun zum Hale-Zyklus von 22 Jahren, der bekanntlich eine Schwingung, mit einer Periode von ca. 22 Jahren darstellt und keinen ausgeschwungenen Zustand, bei dem die Werte

gleich bleiben und sich über Jahre nicht verändern? Die Antwort findet sich in der Sonnenaktivität des Schwabe-Zyklus, der bekanntlich ein Teil (die Hälfte) von ihm ist.

Zwei Schwabe-Zyklen, ergeben einen Halezyklus, weil dann die Polarität der Magnetfelder der nördlichen, und südlichen Sonnenflecken wieder gleich ist. Zur Erinnerung, mit einem neuen Schwabe-Zyklus ändert sich die magnetische Polarität auf der jeweiligen Halbkugel.

Der 23. Schwabe-Zyklus fiel bekanntlich mit einer Dauer von 14 Jahren deutlich länger aus, als der Durchschnitt von 11 Jahren. Während seine Anstiegszeit bis zum Erreichen seines Maximums mit 4-5 Jahren innerhalb derer seiner Vorgänger lag, dauerte sein Rückgang, bis zum Beginn des neuen Sonnenzyklus mit 9 Jahren außerordentlich lang, wie Abbildung 174 zeigt.

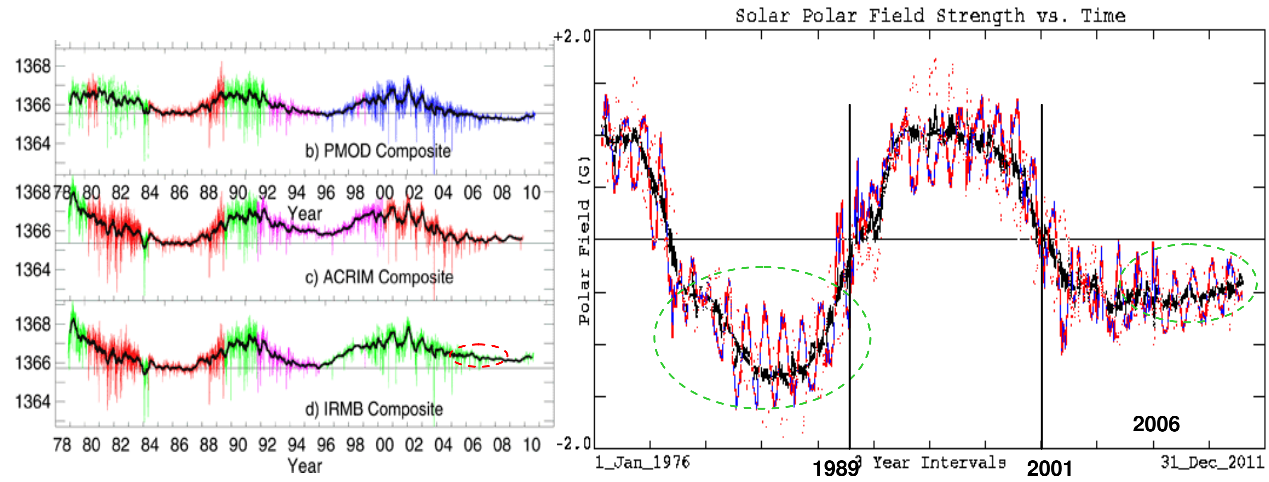


Abbildung 174 links zeigt die letzten drei Sonnenzyklen bis 2010. Der 23. Zyklus dauerte deutlich länger als seine Vorgänger und sein Minimum hielt mehrere Jahre an, wobei sich die solare Aktivität kaum änderte. Dies sind die Jahre 2006 - 2009 (roter Kreis). Die Abbildung rechts, Quelle: Wilcox Solar Observatory, Stanford University (http://wso.stanford.edu/) zeigt das Polare Magnetfeld der Sonne bis 2010. Das polare Magnetfeld der Sonne, welches im Sonnenminimum dominiert und die Polarität (Dipolfeld) des solaren Magnetfeldes vorgibt, ist seit ca. 2005 äußerst stabil und zeigt ebenfalls einen „ausgeschwungenen" Zustand (rechter Kreis), wogegen beim vorherigen Graphenminimum, dieses nur kurz ist und unmittelbar in seinen Schwingungszustand übergeht (linker Kreis).

Es ist somit festzuhalten, dass

1. auch der ISCCP-Wolkenbedeckungsgrad nach 2005 exakt die solare Aktivität widerspiegelt, die durch den Schwabe-Zyklus bestimmt ist
2. der über 3 Jahre andauernde, gleichbleibend niedrige und sich nicht ändernde Wolkenbedeckungsgrad mit dem lang auslaufenden 23. Schwabe-Zyklus übereinstimmt, der sich ebenfalls nicht änderte und daraus (Polar Feld, rechter grüner Kreis)
3. in dieser Zeit keine Polumkehr stattfand, welche den Bedeckungsgrad hätte ändern können
4. eine Polumkehr bis zu dieser Zeit ausblieb – im Gegenteil, die Polarität im gleichen Zeitraum über die gleiche Zeitdauer wie die Wolkenbedeckung um einen Mittelwert schwankt.
5. mit einem Nulldurchgang des Polarfeldes (Polaritätswechsel, schwarze, senkrechte Linien) dreht der Wolkenbedeckungsgrad. Dies war um 1988/89 und dann wieder um 2001 der Fall.

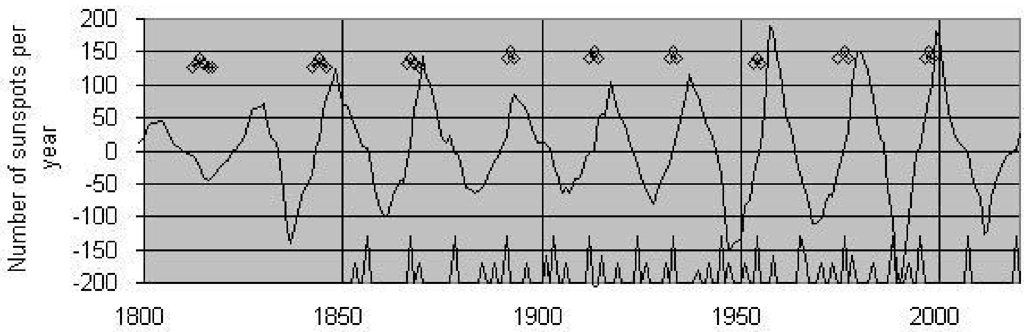


Abbildung 175 zeigt den Hale-Zyklus (http://nexialinstitute.com/climate_el_nino.htm) von 1800 - 2009 (obere Datenreihe). Die Rauten geben US-Trockenjahre an und die untere Datenreihe zeigt El-Niño-Ereignisse.

Während El-Niño-Ereignisse keinen direkten Zusammenhang mit dem Hale-Zyklus erkennen lassen (wodurch El Niño von der Sonne gesteuert wird, wurde im Teil 1 detailliert gezeigt), zeigen die US-Trockenjahre, also bewölkungsschwache Jahre, eine deutlich Häufung zum Hale-Zyklus und zwar immer dann, wenn die Polarität des Sonnenmagnetfeldes N+ und S- beträgt. Dies weist auf einen Zusammenhang mit der Entstehung von Aerosolpartikel und damit Kondensationskeimen für Wolken hin.

Aus einer weiteren Arbeit, “Does the solar wind affect the solar cycle?”, Israelevich et al., Astron. Astrophys. 362, 379–382 (2000), stammt die folgende Datenreihe der Bz-Komponente.

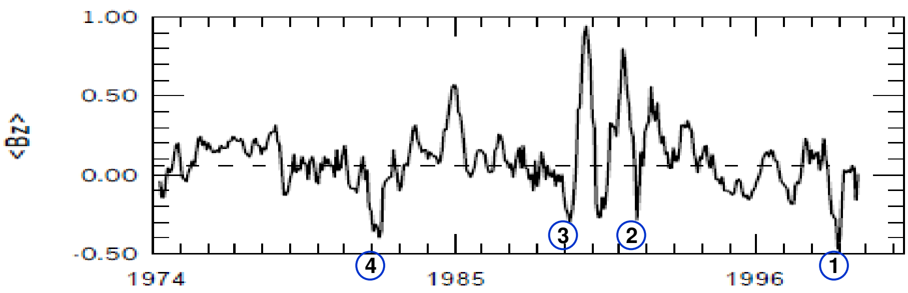


Abbildung 176 zeigt die Bz von 1973 - 2000 als gleitendes Mittel über sieben Sonnenrotationen. Die gestrichelte Linie gibt ihren Mittelwert im Betrachtungszeitraum an. Auffällig ist der starke negative Peak in 1998 ①. Im gesamten Betrachtungszeitraum ist dies die stärkste negative Komponente. Sie fällt zusammen, mit dem stärksten El-Niño-Ereignis seit 50 Jahren. Wie im Teil 5 gezeigt, wird das Erdmagnetfeld umso mehr geschwächt und es treten umso verstärkt Polarlichter auf, je negativer die Bz ist.

Ein weiterer Hinweis, das die Polarität des IPF die Wolkenbedeckung beeinflusst, findet sich in den Belegen zum Einfluss der kosmischen Strahlung auf die untere Wolkenbedeckung.

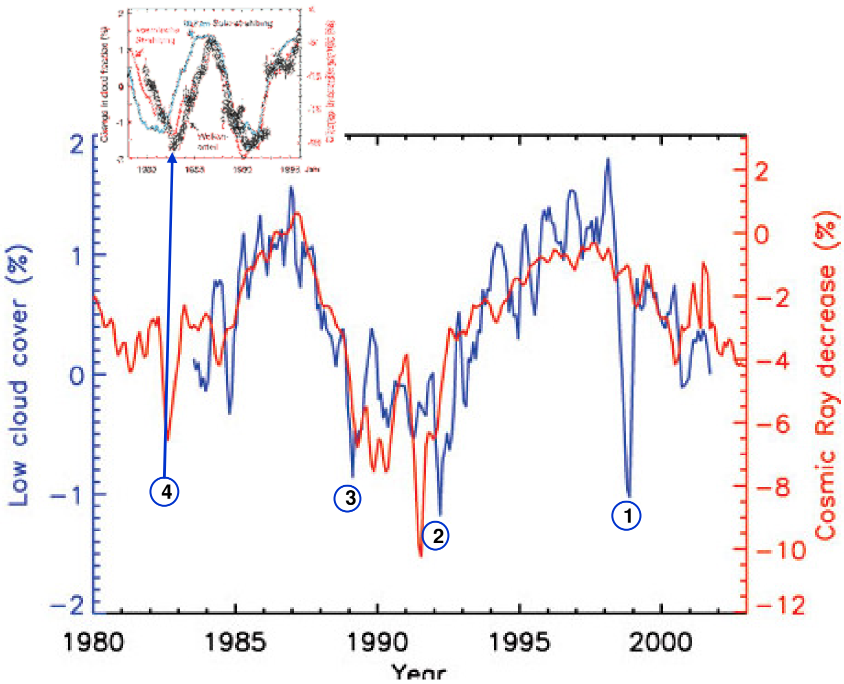


Abbildung 177 (Quelle: Marsh & Svensmark, 2003) zeigt die untere Wolkenbedeckung (blau) von 1983 - 2002 nach Daten des ISCCP und dazu die kosmische Strahlung, gemessen in der Anzahl der Neutronen. Sie zeigt den deutlichen Zusammenhang beider Parameter. Die untere Wolkenbedeckung unterliegt im Takt der CR, Schwankungen von 2-3%. Es fällt sofort der starke Einbruch in der Wolkenbedeckung im Jahr 1999 auf ①, der sich in der kosmischen Strahlung nicht wieder findet. Er ist jedoch in der Bz-Komponente genauso deutlich zu sehen (vorherige Abbildung). Auch die Minima ②, ③ und ④ in der Bz finden sich in der Wolkenbedeckung gleichfalls wieder (Abbildung 176).

Anmerkung zur Abbildung: Da die Zeitreihe der unteren Wolkenbedeckung bei Marsh & Svensmark erst 1983 beginnt, wurde die Abbildung der Wolkenbedeckung, deren Zeitreihe bereits ab 1980 (1980 - 1995) beginnt, allerdings eine andere Glättung aufweist, zum Vergleich des Minima 4 herangezogen. Dortiges Minima in der Wolkenbedeckung in 1982 fällt ebenfalls mit dem starken Minima der Bz in 1982 zusammen. In der kleinen Abbildung ist übrigens das Minima um 1990 nicht spitz ausgeprägt, wie in 1982, sondern flach, was darauf hindeutet, dass es von mehreren Auslösern stammt. Betrachtet man nun die Bz, finden sich in der Feinauflösung 3 Minima im Zeitraum 1990 – 1992 (Abbildung 176).

HCS und dem IPF sind die Folgen der solaren Aktivität, die ihrem Ursprung in der Konvektionszone und der Tachocline der Sonne haben. Das Zwischenstück, was sozusagen Ursache und Folgen miteinander verknüpft ist die Korona der Sonne, in der der Sonnenwind und mit diesem das IPF und die HCS entstehen. Deshalb war es notwendig. dies vorher zu behandeln.

Von diesen Erkenntnissen ist es nur ein kleiner Schritt zu der Aussage, dass die heliosphärische Stromschicht (HCS) die Wolkenbedeckung und damit das Wetter auf der Erde unmittelbar beeinflusst.

Die beiden Wissenschaftler **D.R. Kniveton** (University of Sussex) und **Prof. B.A. Tinsley** (University of Texas), "Daily changes in global cloud cover and Earth transits of the heliospheric current sheet" (http://www.utdallas.edu/physics/pdf/tin_dcgcc.pdf) gingen der Frage nach, ob ein Durchgang der Erde durch die HCS die Bewölkung beeinflusst und fanden die folgende Abhängigkeit.

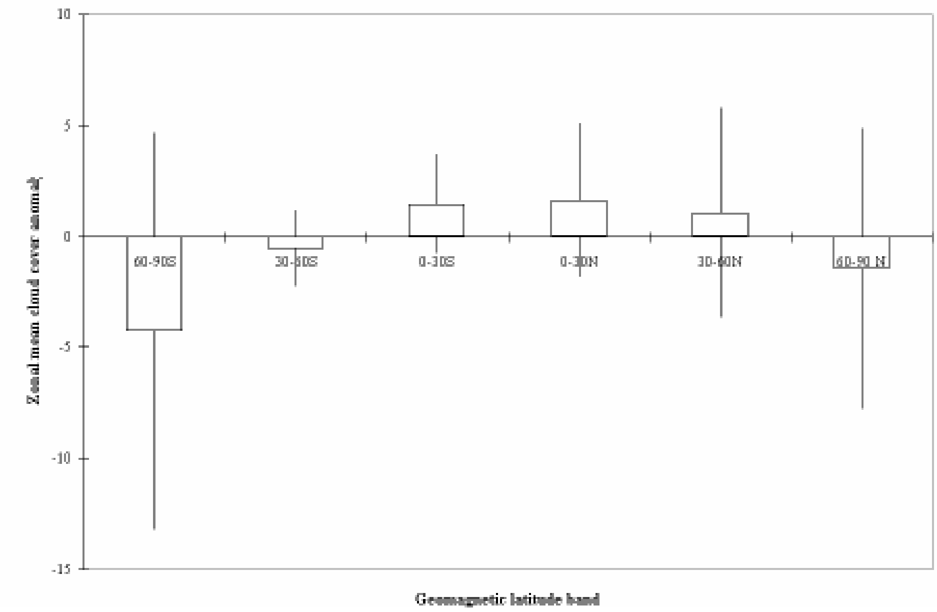


Abbildung 178 zeigt die Tagesänderungen in der zonalen Wolkenveränderung beim Durchgang der Erde durch die HCS. Während an den Polen die Wolkenbedeckung abnimmt, auf der Südhalbkugel gar um fast 5%, ist in den Tropen eine Zunahme von 2% zu verzeichnen. Dies sind Werte, wie bei der Wolkenveränderung durch die kosmische Strahlung. Gemessen wurde in den Jahren 1987 - 1994, also in der Kaltphase der AMO.

Die Arbeit von Kniveton und Tinsley zeigt, dass sich insbesondere in den Tropen die Wolkenbedeckung beim Durchgang der Erde durch die HCS verstärkt, wenn die Erdatmosphäre mit einem Stromfluss von ca. 25.000 Ampere beaufschlagt wird. Daher soll untersucht werden, inwieweit die HCS auf die atlantische Sturmentwicklung, insbesondere auf die Hurrikanaktivität Einfluss hat. Hierzu wird die Svalgaard-Liste des Wilcox Solar Observatory der Stanford University (http://wso.stanford.edu/SB/SB.Svalgaard.html), die die HCS-Durchgänge der Erde auflistet, sowie die ACE-Liste des Hurrikan-Centers der NOAA (http://www.nhc.noaa.gov/pastall.shtml) ausgewertet.

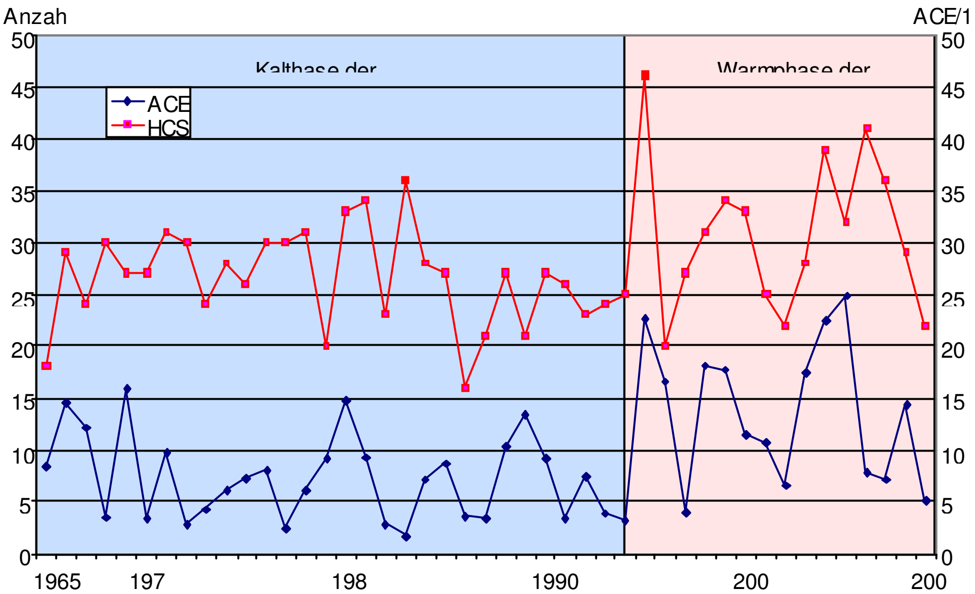


Abbildung 179 zeigt die jährliche Anzahl der HCS-Durchgänge der Erde von 1965 - 2009 (rot), sowie die Hurrikanstärke/10 im gleichen Zeitraum. Der Startzeitpunkt wurde auf das Jahr 1965 gelegt, weil ab diesem Datum für die ACE Satellitendaten vorliegen, die einen verlässlichen und einheitlichen Charakter besitzen. Davor wurde manuell gezählt/gemessen und die Daten aus mehreren Quellen zusammengetragen.

Abbildung 179 deutet darauf hin, dass die HCS Einfluss auf die Hurrikan-Aktivität hat. Wie bekannt, ist die nordatlantische Hurrikan-Aktivität mit der AMO, der AMM (Scherwinde) und den

Easterlay-Waves verbunden. Abbildung 180 zeigt den Zusammenhang der Hurrikan-Aktivität mit der AMO.

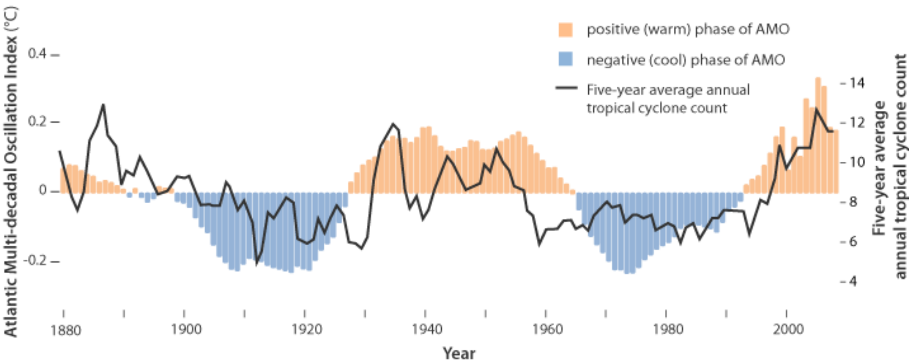


Abbildung 180 zeigt die Atlantische Multidekaden-Oszillation AMO, Quelle: Landsea et al, 2010, “Impact of Duration Thresholds on Atlantic Tropical Cyclone Counts”. Dazu der Verlauf der tropischen Hurrikane (schwarze Linie). AMO und Hurrikan-Aktivität verlaufen parallel.

Daher liegt es nahe, die Hurrikan-Aktivität an der HCS plus der AMO, die ebenfalls von der Sonne moderiert wird, zu spiegeln (folgende Abbildung). Hierzu wurde der AMO-Datensatz der NOAA (http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseriesimeseries/AMO/) ausgewertet und auf den niedrigsten Wert im Betrachtungszeitraum normiert, also dieser als Bezugspunkt ausgewählt.

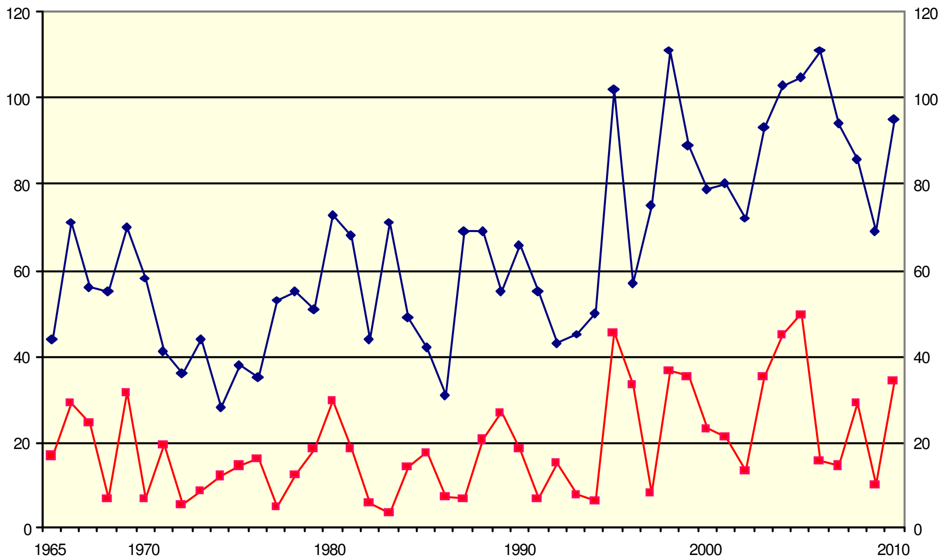


Abbildung 181 zeigt die normierten Werte des HCS + AMO für den Zeitraum von 1965 - 2010 (blaue Kurve). Dazu der ACE im gleichen Zeitraum. Zu besseren Vergleichbarkeit wurden die ACE-Werte jeweils durch 5 dividiert. Zu sehen ist also ACE/5 (rote Kurve). Insbesondere in der Warmphase der AMO ist eine gute Korrelation der HCS mit der Hurrikantätigkeit zu sehen.

Die Untersuchung zeigt, dass es einen Zusammenhang zwischen HCS-Durchgang und der atlantischen Hurrikanentwicklung gibt. Die Datenreihe ist nicht so eindeutig, wie die der Korona auf die El-Nino-Ereignisse (Teil 1). Dies kann auch nicht erwartet werden, da die Hurrikantätigkeit von weiteren Parametern wie Easterly Waves, AMM und Scherwinden abhängig ist, die in der obigen Abbildung nicht erfasst sind.

Weiter sind die Durchgänge der Erde durch das HCS natürlich keine Normdurchgänge. Den Einfluss, den das HCS auf die Atmosphäre der Erde ausübt, ist bei jedem Durchgang verschieden. Dies hängt zum einen mit dem Ballerina Skirt, also der Sonnenaktivität selbst zusammen und zum anderen, an der jeweiligen Stromverteilung in dem HCS, welche, wie gezeigt, inhomogen ist, mit örtlichen Maxima und Minima. So ist der Wert für die Stromstärke des HCS von ca. 25.000 Ampere, ein Mittelwert, der räumlich stark divergieren dürfte. Auch durchläuft die Erde teilweise bei einem Durchgang nicht nur eine Polarität, sondern zwei.

Die Datenreihe der HCS zur ACE legt nahe, dass die HCS ein weiterer Parameter ist, der die Hurrikantätigkeit auf dem Atlantik beeinflusst. Dies umso mehr, als die Arbeiten zu den

Tagesveränderungen der zonalen Wolkenbedeckung beim Erddurchgang durch die HCS (Kniveton und Tinsley) in der Kaltphase der AMO durchgeführt wurden und Messungen in der AMO-Warmphase einen höheren Änderungswert in der zonalen Wolkenbedeckung in den Tropen erwarten lassen. Dies, wegen dem höheren Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre bei wärmerem Wasser.

Insbesondere in der Warmphase der AMO besteht eine gute Korrelation der Hurrikanereignisse mit den Durchgängen der Erde durch die HCS. Da ein Hurrikan für seine Entstehung Energie benötigt und das Energievolumen bei warmer AMO höher ist, kann die HCS dann bevorzugt einen Hurrikan sozusagen triggern helfen. Die Triggerung benötigt warme Wassertemperaturen und damit begünstigt die Warmphase der AMO die Hurrikantätigkeit. Bei kaltem Oberflächenwasser (Kaltphase der AMO) steigt zwar der zonale Wolkenbedeckungsgrad in den Tropen beim Durchgang der Erde durch die HCS. Aufgrund der vergleichsweise niedrigen Wassertemperaturen fehlt dem Tiefdruckgebiet die Energie, bzw. Energiedifferenz zwischen Wasser und oberer Troposphäre, die es benötigt, um zu einem Hurrikan anzuwachsen.

Abschließend ist festzuhalten, dass über die Kopplung der kosmischen Strahlung, des Hale-Zyklus und der HCS auf die geladenen Aerosolteilchen in der Tropos- und Stratosphäre das Wetter/Klima massiv beeinflusst wird.

Nicht nur die Hurrikantätigkeit wird durch die Sonne gesteuert, sondern auch die Tornadoaktivität in den USA.

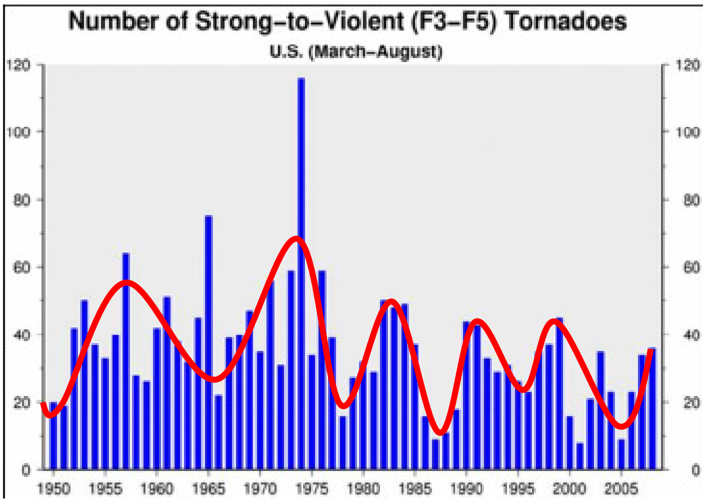


Abbildung 182 zeigt die Anzahl der schweren Tornados in den USA im Zeitraum von 1950 - 2008. Die höchste Anzahl tritt ausgerechnet in Zeiten kühler Temperaturen auf der Nordhalbkugel in den 1960- und 1970-Jahre auf. Dies ist auf die größeren Temperaturgegensätze zwischen Tropen und Polargebieten zurückzuführen, was zu höheren Windgeschwindigkeiten führt (Jetstream – Tornados und auch Stürme/Orkane in Mitteleuropa hängen unmittelbar mit dem Auftreten, Verlauf und Stärke des Jetstreams zusammen). Bei verminderter Sonneneinstrahlung ist durch die Neigung der Erdachse die relative Energieänderung in den Tropen geringer als auf der Nordhalbkugel, was zu einem größeren Druckgradienten führt (Hub wird größer). Bei zurückgehenden Temperaturen wird dieser Hub unmittelbar größer, bei steigenden Temperaturen nicht, weil die Energie zuerst dazu verwendet werden muss, dass Wasser zu erwärmen, was dem Hub entgegenwirkt. In dem Chart lässt sich ein im Mittel 11-jähriges Wellenmuster (rote Linie, 1950 - 2005 = 5 Zyklen) erkennen, welches mit dem Schwabe-Zyklus der Sonne übereinstimmt. Wird die Schwingung weitergeführt, fällt das nächste Maximum der schweren Tornadoaktivität auf das Jahr 2011, so wie wir es dieses Jahr erlebten.

Raimund Leistenschneider - EIKE

Teil 8 in Kürze

Dynamisches Sonnensystem – die tatsächlichen Hintergründe des Klimawandels

Während IPCC und Co. mit ihren Klimamodellen und Klimaszenarien auf einem untergehenden Schiff sind, da ihre Szenarien und Aussagen sämtlich daneben liegen und noch nicht begriffen haben, die Rettungsleine zu werfen, wohl, weil damit allzu großer Luxus und das bisherige, ausschweifende, sorgenfreie Leben gefährdet ist, Existenzängste also, zeigt Teil 8 anhand natürlicher Parameter der Sonne und des Sonnensystems, wie und in welche Richtung sich das Klima in den nächsten 40-50 Jahren, 200 Jahren und 2.000 Jahren entwickelt. Weiter wird der Frage nach gegangen, ob und wann mit einer nächsten Eiszeit zu rechnen ist. Hierzu werden über die Grenzen des Sonnensystems die stellaren Objekte betrachtet.

Teil 1 – Die Sonne bestimmt den Temperaturgang
Teil 2 – Die Sonne, der faszinierende Stern
Teil 3 – Sonnenflecken und ihre Ursachen
Teil 4 – Die Sonnenatmosphäre, Korona, Heliosphärische Stromschicht, interplanetares Magnetfeld
Teil 5 – Die variable Sonne
Teil 6 – Der Einfluss der Sonne auf unser Wetter/Klima
Teil 7 – Der Einfluss der Sonne auf die Wolkenbedeckung über Svensmark hinaus
Teil 8 – Zukünftige Temperaturentwicklung und deren Schwankungen



Abbildung 0

Teil 8 – Zukünftige Temperaturentwicklung und deren Schwankungen

Da die Temperaturentwicklung ausschließlich von der solaren Aktivität abhängt, werden die Temperaturen mit der derzeit zurückgehenden Sonnenaktivität ebenfalls zurückgehen, so wie wir dies seit etwa 10 Jahren auch beobachten. Zu dieser Erkenntnis kommen NASA, wie auch das Space and Science Research Center (SSRC) in Orlando.

Wie dargelegt, bestimmt der Hauptsonnenzyklus, der im Mittel 208-jährige de Vries/Suess-Zyklus maßgeblich unser Klima. Er hatte zu Beginn des Jahrhunderts (2002/2003) sein Maximum. Wie nach jedem Hauptsonnenzyklus, gehen seither die Temperaturen deutlich zurück.

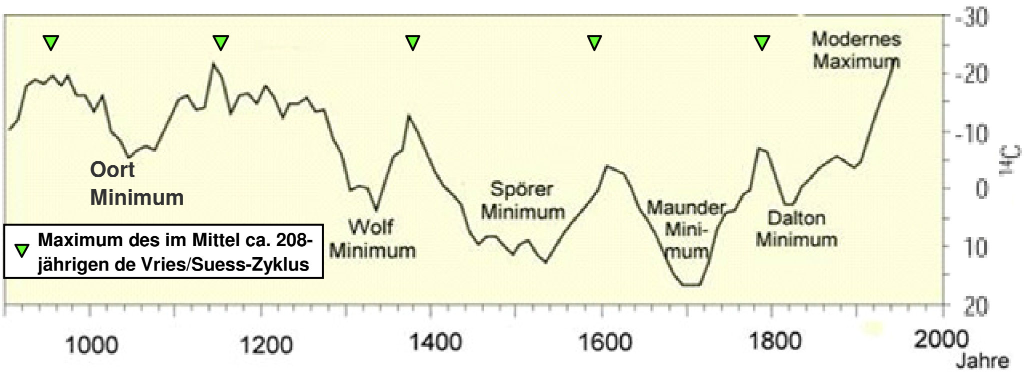


Abbildung 183 zeigt die Kälteperioden der letzten 1.100 Jahre (ergänzt nach Quelle: United States Geological Survey). Die Maxima der Warmperioden korrelieren jeweils mit dem Maximum des de Vries/Suess-Zyklus. Nach jedem Maximum fallen die Temperaturen deutlich.

Daher werden der Temperaturverlauf ausgewählter Stationen nach dem davor liegenden Maximum des de Vries/Suess-Zyklus betrachtet. Dieses lag in den 1790-Jahren. Nur solche Stationen wurden betrachtet, in denen eine natürliche Schwingung zu sehen ist, um auszuschließen, dass menschliche Effekte, hier vor allen der Wärmeinseleffekt, auf den Temperaturverlauf störend wirken.

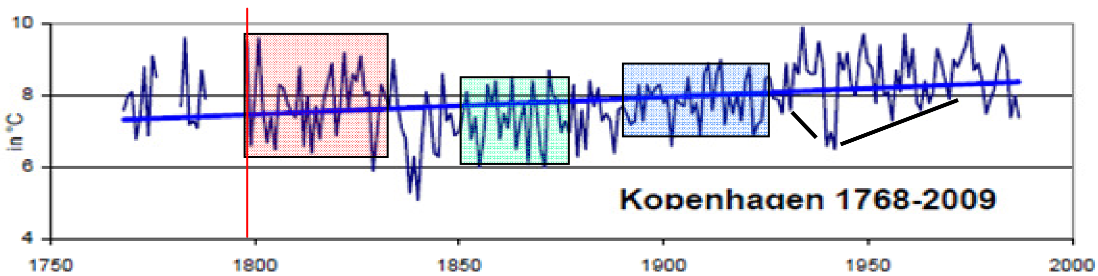


Abbildung 184, Quelle: Prof. Ewert, EIKE, zeigt den Temperaturgang von Kopenhagen im Zeitraum von 1768 - 2009. Die rote Linie gibt den Zeitpunkt des Maximums im Hauptsonnenzyklus an. Bis zu einem Zeitraum von 20 - 30 Jahren nach dem Hauptsonnenzyklus schwanken die Temperaturen noch stark zwischen warm und kalt (rote Fläche). Bis zum Erreichen seines Minimums, sind immer noch relativ hohe Temperaturausschläge zu verzeichnen, jedoch auf insgesamt niedrigerem Niveau (grüne Fläche). Unmittelbar vor und nach dessen Minimum ist das Klimasystem sozusagen in seinem eingeschwungenen, kalten Zustand und die Ausschläge sind am geringsten (blaue Fläche). Vor einem erneuten Temperaturanstieg (steigender Sonnenzyklus), fallen die Temperaturen auf ein Minumum und steigen dann kontinuierlich an (schwarze Linien).

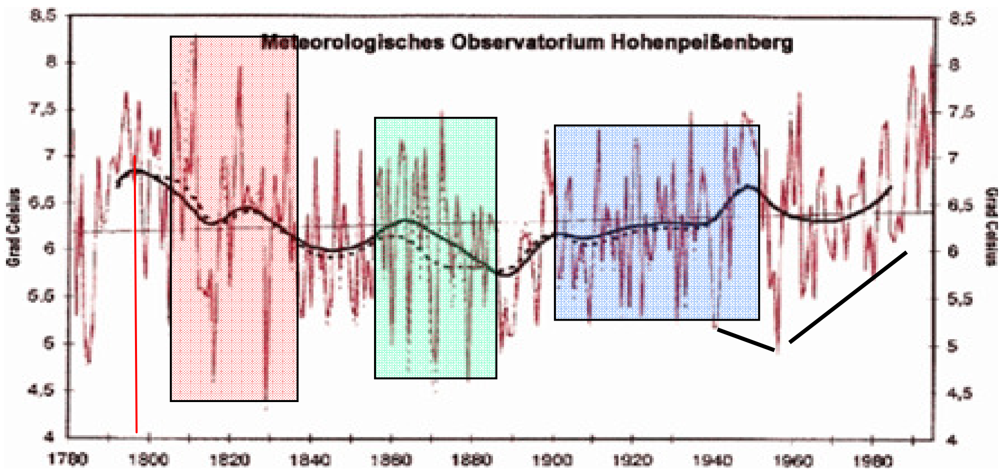


Abbildung 185, Quelle: (http://www.lanuv.nrw.de/luft/wirkungen/klima_grundlagen.htm) zeigt den Temperaturgang des Hohenpeißenberg von 1781-1995 nach Fricke 1997. Die rote Linie kennzeichnet wieder das Maximum des Hauptsonnenzyklus. Auch hier sind bis 30 Jahre nach dem Hauptsonnenzyklus starke Jahresschwankungen der Temperatur zu sehen (rote Fläche), die dann geringer werden (grüne Fläche) und nach dem Minimum im Hauptsonnenzyklus die geringsten Werte einnehmen (blaue Fläche).

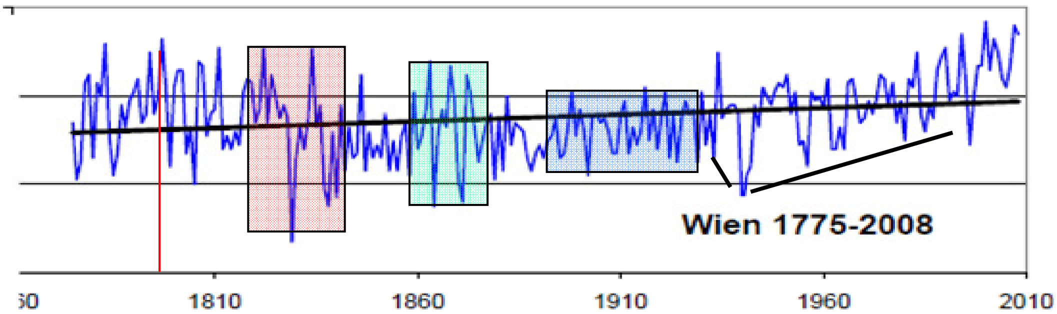


Abbildung 186: Zu sehen ist der Temperaturverlauf von Wien im Zeitraum von 1775 - 2008, Quelle: Prof. Ewert, EIKE. Der Temperaturverlauf verhält sich wie bei den vorherigen Datenreihen.

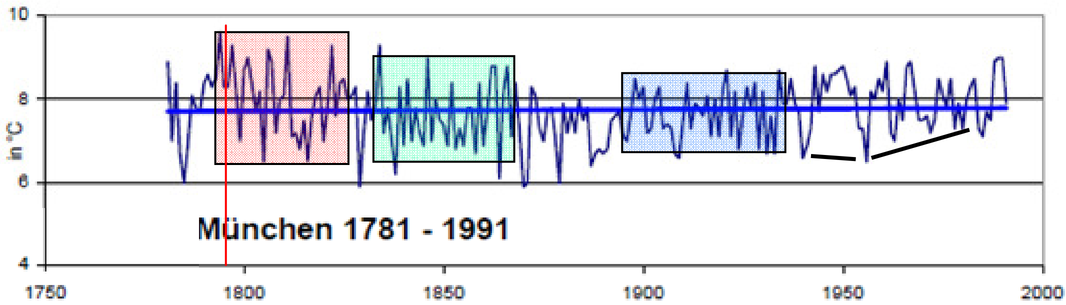


Abbildung 187: Ebenfalls das gleiche Bild bei der Temperaturgangreihe München im Zeitraum von 1781 - 1991.

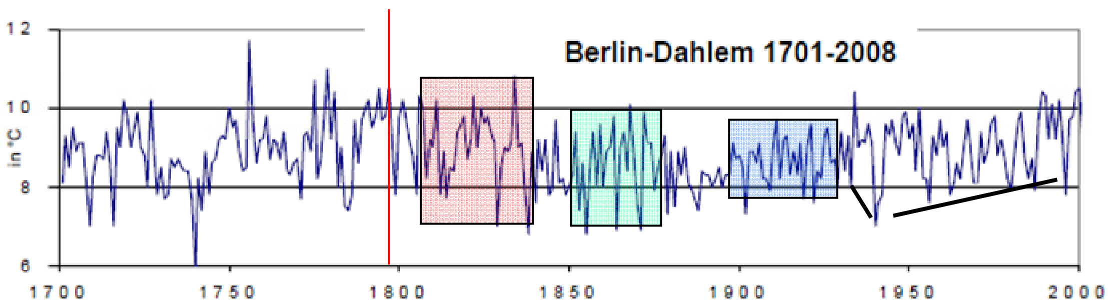


Abbildung 188: Temperaturgangreihe von Berlin-Dahlem von 1701 - 2008 mit den gleichen Merkmalen.

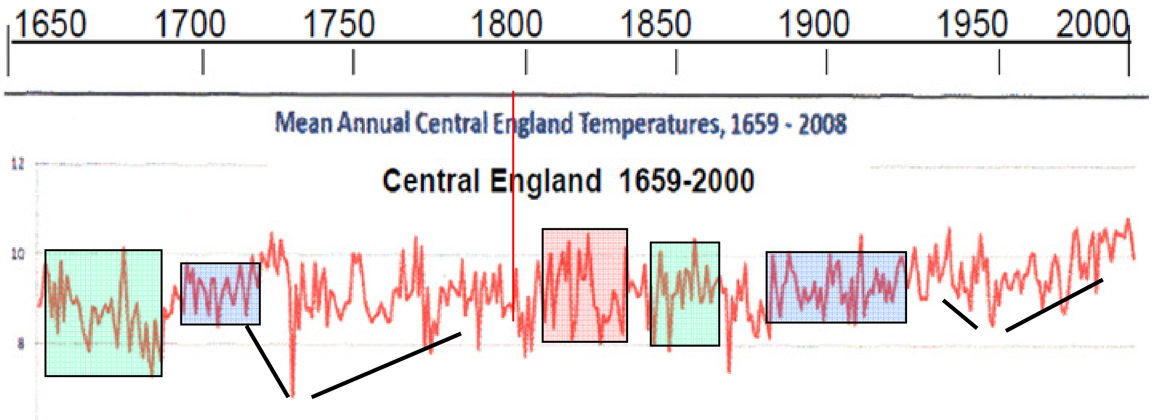


Abbildung 189: Temperaturgangreihe Zentralenglands von 1659 - 2000 (alle nicht eigens angegebene Quellen: Prof. Ewert, EIKE). Mit seinem ausgeglichenen Seeklima zwischen Atlantik und Nordsee nimmt England sicherlich eine Sonderstellung ein. Dies zeigt sich, dass hier die „grüne“ Phase von der „roten“ Phase nicht so stark differiert wie in Mitteleuropa. Aber auch hier ist das Muster, trotz der Moderation durch den Ozean, vorhanden. Die Temperaturgangreihe ist deshalb besonders interessant, weil sie bis 1659 zurückreicht und damit an einem weiteren Hauptsonnenzyklus gespiegelt werden kann (Maximum um 1590). Während der Epoche der "Kleinen Eiszeit" zeigt sich auch hier deutlich das typische Temperaturgangmuster. Auch beim davor liegenden Hauptsonnenzyklus, fallen zuerst die Temperaturen stark, bevor sie dann wieder ansteigen (schwarze Linien).

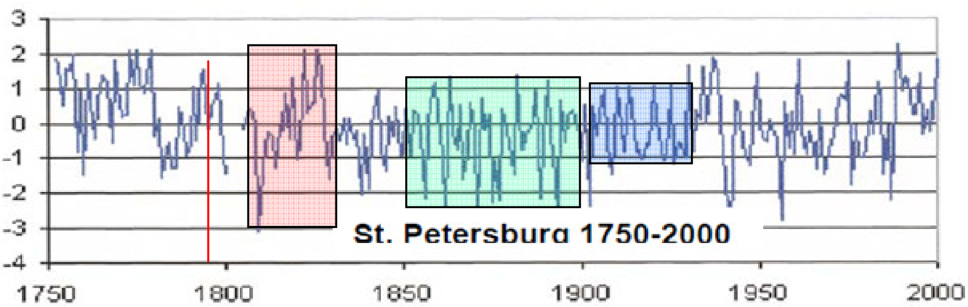


Abbildung 190: Eine weitere Region, neben Mitteleuropa und Großbritannien, St. Petersburg, zeigt ebenfalls das typische Muster des Temperaturganges nach einem Maximum im Hauptsonnenzyklus.

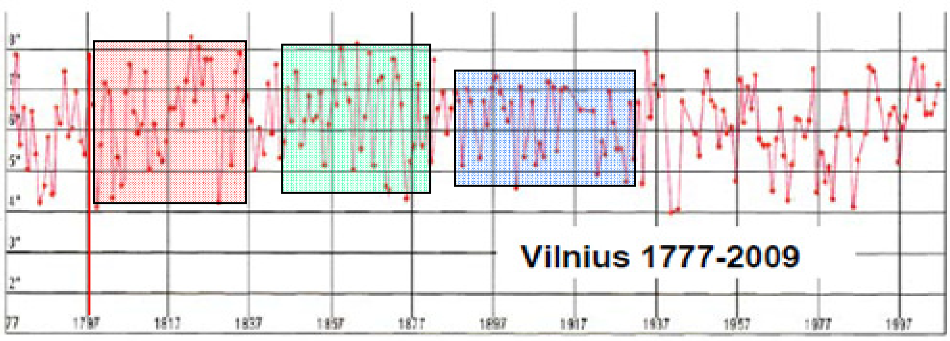


Abbildung 191: In Vilnius ein ähnliches Bild.

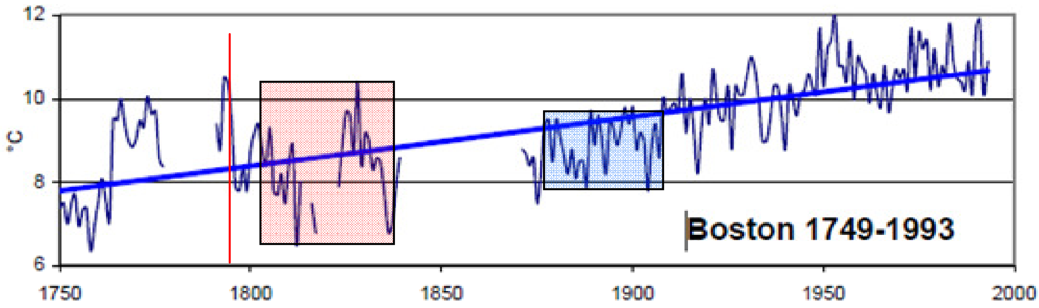


Abbildung 192: Nicht nur in Europa, sondern auch in Amerika ergibt sich das gleiche Muster des Temperaturganges nach einem Hauptsonnenzyklus, wenn auch hier sozusagen der mittlere Teil fehlt, weil keine Messungen vorhanden sind.

Fazit
Anhand der solaren Aktivitätsschwankungen, dem derzeitigen und weiteren Rückgang der solaren Aktivität, sowie der Vergleiche der Temperaturentwicklung nach einem Hauptsonnenzyklus, ist für die nächsten 40-50 Jahre mit einem spürbaren Rückgang der Temperaturen zu rechnen. Nach einem Hauptsonnenzyklus fallen die Temperaturen deutlich, dabei unterliegen sie hohen Schwankungen zwischen warm und kalt, wie wir es übrigens auch gegenwärtig wieder erleben, so dass der Temperaturgang für die nächsten 10 Jahre weiter diesen Extrema zwischen warm und kalt unterliegen sollte. Das Klimasystem verhält sich dabei wie ein physikalisch, elektrisches System, welches in seiner Übergangphase (Hystherese, beim Klima zwischen Warmzeit und Kaltzeit) empfindlich auf Veränderungen in seinen Eingangsgrößen reagiert. Im eingeschwungenen Zustand (z.B. kalt) ist es weitgehend stabil und nur geringen Schwankungen unterworfen. Ca. 40 - 50 Jahre nach einem Maximum im Hauptsonnenzyklus, sind die Schwankungen zwischen warm und kalt weiterhin relativ hoch, allerdings auf insgesamt niedrigerem Niveau. Im „eingeschwungenen“ Zustand ist das System stabil auf niedrigem Niveau.

Obwohl die Untersuchungen anhand eines, bzw. 2 Hauptsonnenzyklen sicherlich zu gering sind, um eine abschließende Aussage treffen zu können, zeigt sie, dass starke Temperaturschwankungen zwischen warmen und kalten Jahren in den ersten Jahrzehnten nach einem Hauptsonnenzyklus, insbesondere in Mitteleuropa, nichts ungewöhnliches darstellen. Die heutigen Schwankungen passen somit in sehr guter Weise zu den historischen.

Lässt sich darüber hinaus eine weiter gehende Prognose für die Temperaturentwicklung herleiten. Der Autor hält dies nicht grundsätzlich für unmöglich, wenn dazu weitere solare Zyklen, wie der Hallstatt-Zyklus, der die Hüllkurve des de Vries-Suess-Zykluss darstellt zu Grunde gelegt werden. Sonnenzyklen bestimmen nicht nur auf kurzen Zeitskalen, sondern auch auf langen Zeitskalen das Klima auf der Erde, wie die folgenden Abschnitte zeigen.

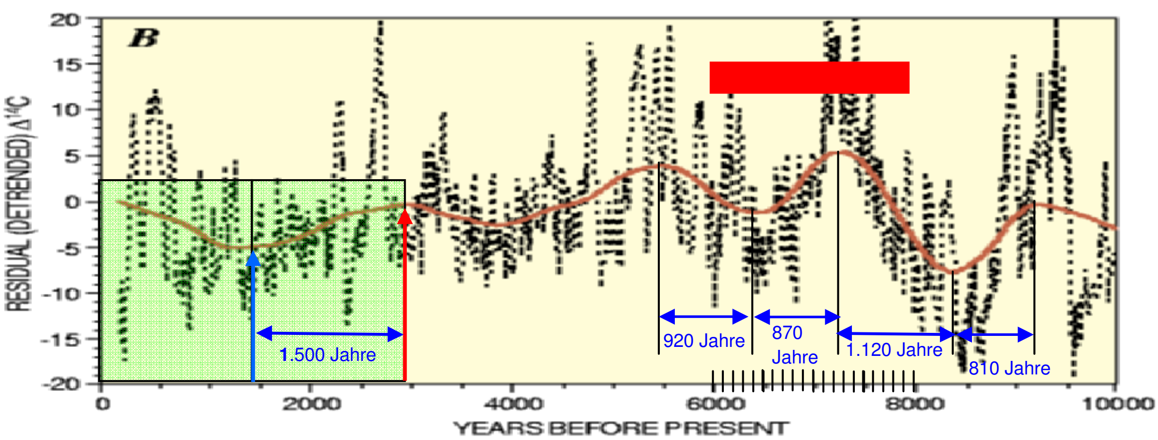


Abbildung 193 zeigt den im Mittel 2.300 Jahre dauernden Hallstatt-Zyklus (geglättete Kurve), gewonnen aus ^{14}C-Werten aus Baumringen (schwarze Kurve: de Vries-Suess-Zyklus), Quelle: United States Geological Survey, “The Sun and Climate“, August 2000. Der Autor hat hierzu die

Zyklenzeiten, bzw. Halbzyklenzeiten, (zwischen zwei Extrema) eingefügt. Deutlich ist zu sehen, dass die Länge des Hallstatt-Zyklus zur Gegenwart hin zunimmt. Zwischen letztem Maximum (roter, senkrechter Pfeil) und Minimum (blauer, senkrechter Pfeil) liegt eine Zeitspanne von 1.500 Jahren (grünes Rechteck). Sein letztes Minimum hatte er um 650 nChr. Seinerzeit war es übrigens besonders kühl. Wird dieses grüne Rechteck gespiegelt, so zeigt sich, dass der Hallstatt-Zyklus nach dieser ^{14}C-Auswertung sein Maximum um das Jahr 2150 haben wird (in der Abbildung ist die Skalierung der letzten 500 Jahre nicht maßstabsgerecht zu den übrigen, deshalb scheint es, dass das Maximum um das Jahr 2000 liegt). In der Zeit des Holozän-Klimaoptimums (roter Balken) war die Zykluszeit wesentlich kürzer.

Anhand dieser Untersuchung (längere Zykluszeiten) ist davon auszugehen, dass der Trend des Temperaturrückgangs im Holozän, wie es die Arbeit von Schönwiese zeigt, fortgeführt wird.

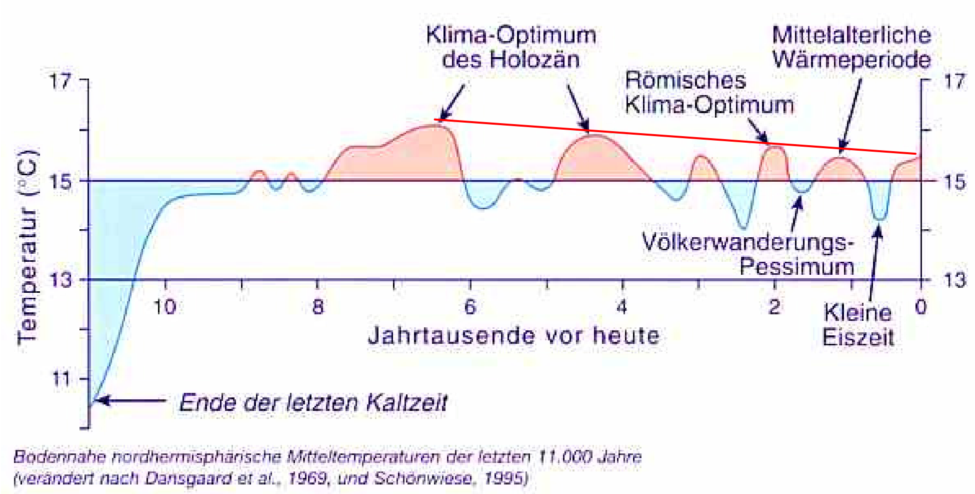


Abbildung 194, Temperaturgang im Holozän nach Schönwiese und dazu vom Autor, der linearen Trend (rot).

Die Analogie, dass mit kurzen Zyklenzeiten, höhere Temperaturen verbunden sind, wird durch die Untersuchungen erhärtet, dass auch beim Schwabe-Zyklus (kleine Skalen), die Zeiträume mit kurzen Zyklenzeiten, zu der aktiven Sonne und damit zu den Warmzeiten gehören! Erreicht der Hallstatt-Zyklus sein nächstes relative Maximum, ist davon auszugehen, dass für mindestens die nächsten 1.500 Jahre der Temperaturtrend nicht nach oben, sondern im Gegenteil, nach unten, zu kälteren Temperaturen geht.

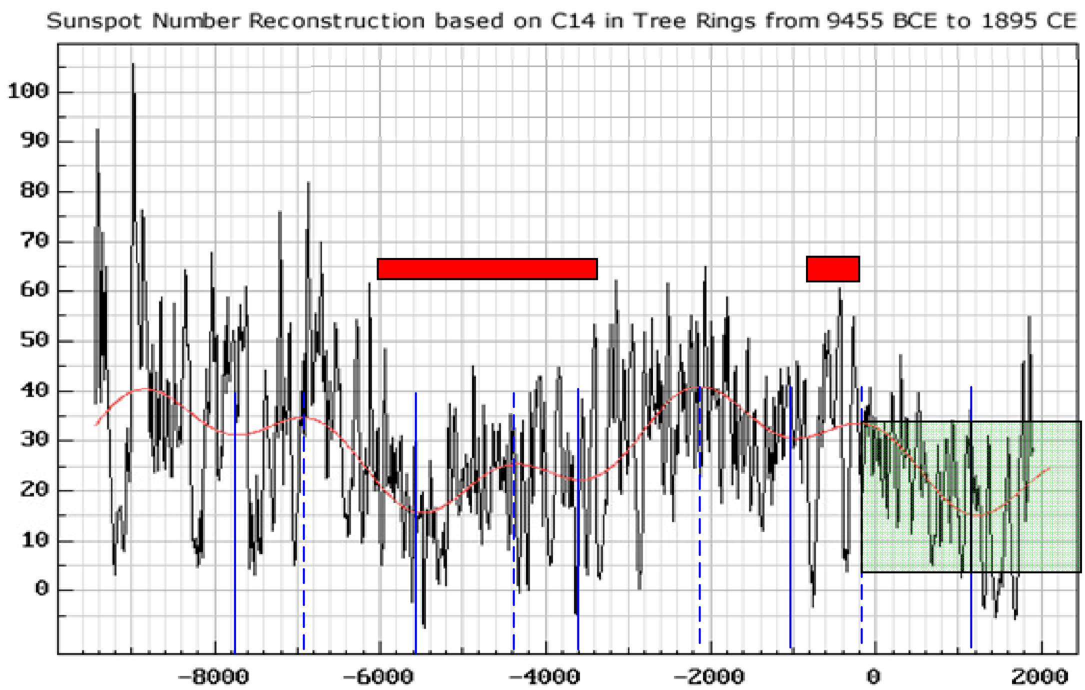


Abbildung 195 dient zum Vergleich des Ergebnisses der Abbildung 193. Sie stammt von Solanki, S.K., et al. 2005 (geglättete rote Kurve: Ray Tomes, "Cycles in Sunspot Number Reconstruction for 11,000 Years" – anhand von Berechnungen der Ausgleichskurve gibt Tomas das Maximum der Ausgleichskurve – Hallstatt-Zyklus – im Jahr 2.293 an). Auch diese Arbeit zeigt deutlich den Hallstatt-Zyklus. Wie in der Darstellung der USGS, war dessen Zykluszeit während des Holozän-Optimums kurz. Bei Solanki et al. auch der ansteigende Zyklus während des römischen Klimaoptimums (rechter rote Balken). Auch bei Solanki et al. werden die Zykluszeiten des Hallstatt-Zyklus zur Gegenwart hin länger, was dafür spricht, dass es einen, dem Hallstatt-Zyklus übergeordneten Sonnenzyklus gibt, der dessen Zykluslänge bestimmt. Nach der Untersuchung von Solanki et al., steigt der Hallstatt-Zyklus noch bis ca. zum Jahr 2.200 an, was in etwa der Untersuchung der USGS entspricht. Erst danach geht die solare Aktivität für längere Zeit (mindestens 1.500 Jahre, bis zum nächsten relativem Minimum im Hallstatt-Zyklus) wieder zurück. Nach **M. A. Xapsos** und **E. A. Burke**, "Evidence of 6.000-Year Periodicity in Reconstructed Sunspot Numbers" (Solar Physics, Volume 257, Number 2, 363-369) gibt es diesen, dem Hallstatt-Zyklus, zeitlich übergeordneten Sonnenzyklus.

Die folgende Abbildung bestätigt ebenfalls den Temperaturtrend nach dem Hallstatt-Zyklus bis zum Jahr 2.200.

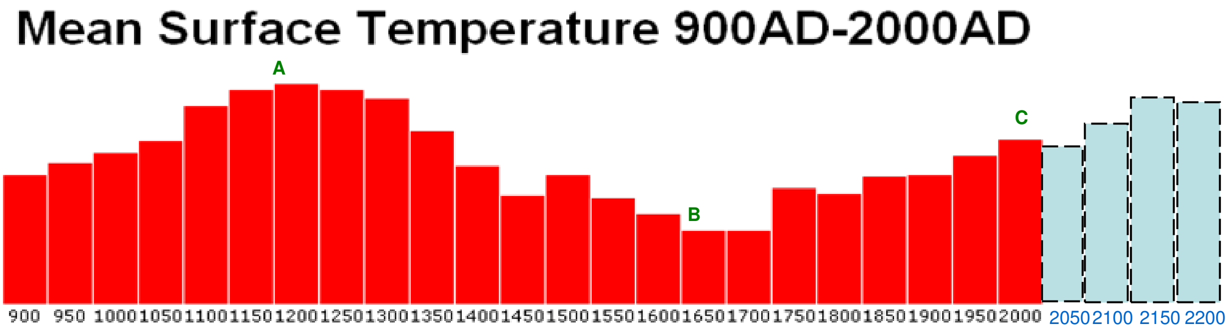
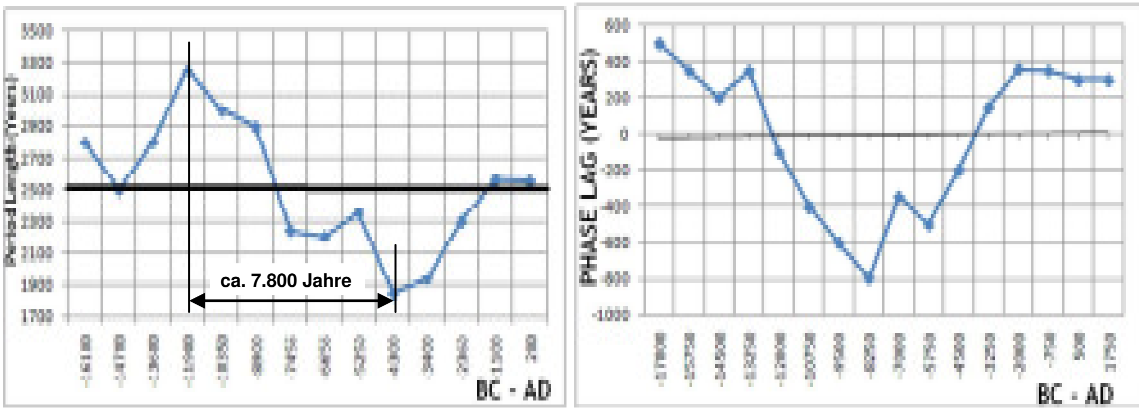


Abbildung 196 zeigt die gemittelten Temperaturen (rot) in 50-Jahresintervallen Quelle: (http://www.abd.org.uk/pr/274.htm). Deutlich ist eine Schwingung zu erkennen, die nur auf natürliche Ursprünge zurückzuführen ist. Wird die ansteigende Zykluslänge gleich der absteigenden gesetzt (komplette Schwingung), so ergibt sich das erweiterte Bild (grau) bis zum Jahr 2.200. Auch hier steigen bis um das Jahr 2150 die Temperaturen noch an. Der Temperaturrückgang nach C, also bis zum Jahr 2050, gibt zum einen, den bisherigen 10-jährigen Temperaturrückgang wieder, die bevorstehende zurückgehende Sonnenaktivität, sowie die Temperaturentwicklung nach dem davor liegenden Maximum des Hauptsonnenzyklus, nach dem die Temperaturen ebenfalls zurückgingen (rote Säule bei 1800).

Diese, auf langen Zeitskalen wirkenden solaren Aktivitäten geben den Langfristtrend an. Sie geben keine Auskunft über kurzfristige Schwankungen. Hierzu sind, wie gezeigt, die solaren Zyklen, wie Schwabe- und de Vries/Suess-Zyklus notwendig. Diese zeigen die klimatischen Veränderungen auf Zeitskalen von Jahren, bzw. Jahrzehnten. Anhand derer, in den nächsten 30-40 Jahren eine deutliche Abkühlung eintritt, wie wir sie seit einigen Jahren bereits beobachten.



Die beiden Charts in Abbildung 197, Quelle: (http://garymorris93.cwahi.net/weather/solar_variations.html), zeigen Periodendauer (links) und Phasenverzögerung (rechts) des Hallstatt-Zyklus. Deutlich zu sehen, dass während des Klima-Optimums im Holozän, Zykluszeit und Phasenverzögerung sehr gering, bzw. stark negativ waren, was für eine starke solare Aktivität typisch ist! Dessen Periodendauer hat wiederum einen Zyklus von ca. 7.800 Jahren.

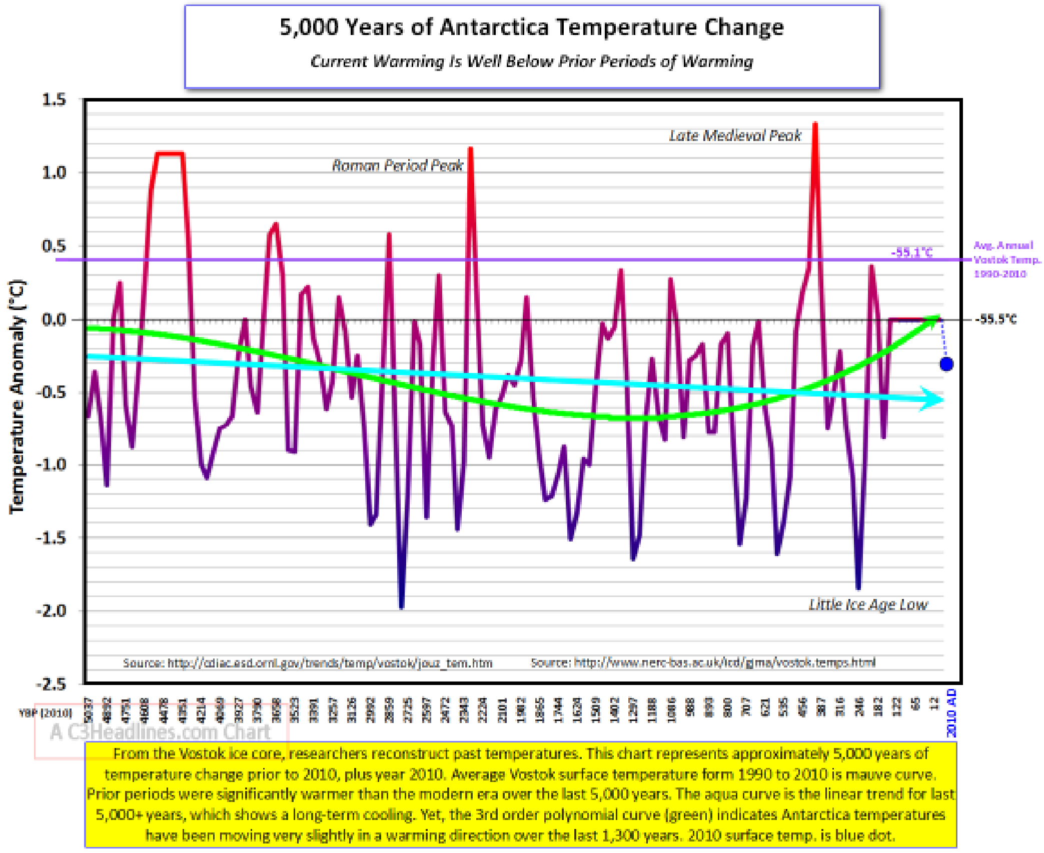


Abbildung 198 zeigt den Temperaturgang in der Antarktis der letzten 5.000 Jahre (http://www.c3headlines.com/). Deutlich zeichnen sich die Warmperioden der mittelalterlichen Warmzeit, des römischen Klimaoptimums und dem Holozänoptimum ab. Das gegenwärtige Temperaturniveau ist als mäßig einzustufen. Allein in 13 Zeitabschnitten war es in den letzten 5.000 Jahren wärmer als heute. Seit Beginn dieses Jahrhunderts ist wieder ein deutlicher Temperaturrückgang zu verzeichnen. Die derzeitigen Temperaturen (2010) sind als moderat einzustufen. Der Trend ist negativ (türkisfarbener Pfeil)

Im Betrachtungszeitraum ist deutlich ein Schwingverhalten (grün) zu sehen, mit Extrema vor ca. 1.000 Jahren und vor ca. 4.500 Jahren, was nur auf natürliche Ursachen zurückzuführen ist. Anhand der halben Periodenlänge, die auf der Abbildung zu sehen ist, beträgt die gesamte Schwingungsdauer für einen Zyklus ca. 7.800 Jahre. Dies ist dieselbe Schwingungszeit, wie sie die Sonne bei ihren Langzeitaktivitätsschwankungen in Abbildung 197 aufweist. Auch die

Extrema in Abbildung 197 stimmen recht gut überein mit Abbildung 198 überein – vor ca. 1.100 Jahren und vor ca. 4.300 Jahren.

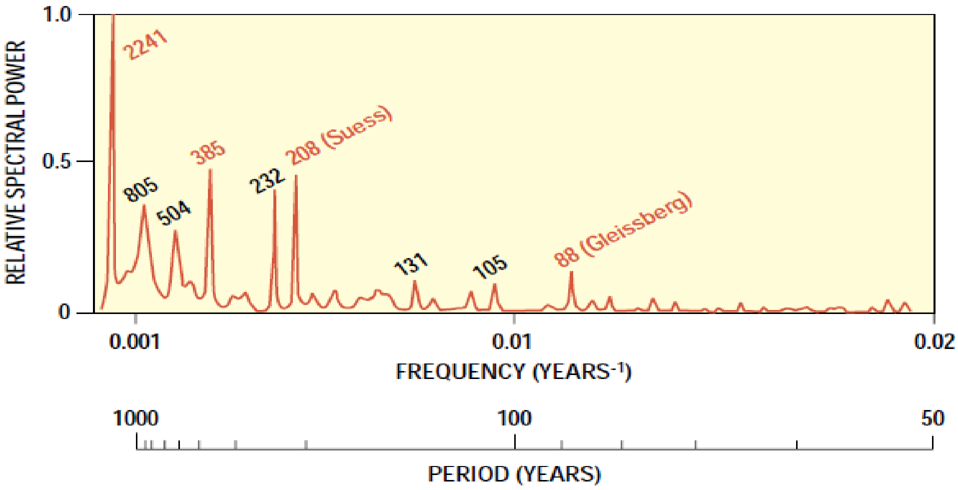


Abbildung 199, Quelle: United States Geological Survey, “The Sun and Climate“, August 2000, zeigt das Energiespektrum der ^{14}C-Daten. Deutlich sind Maxima zu erkennen, die Sonnenzyklen zuzuordnen sind.

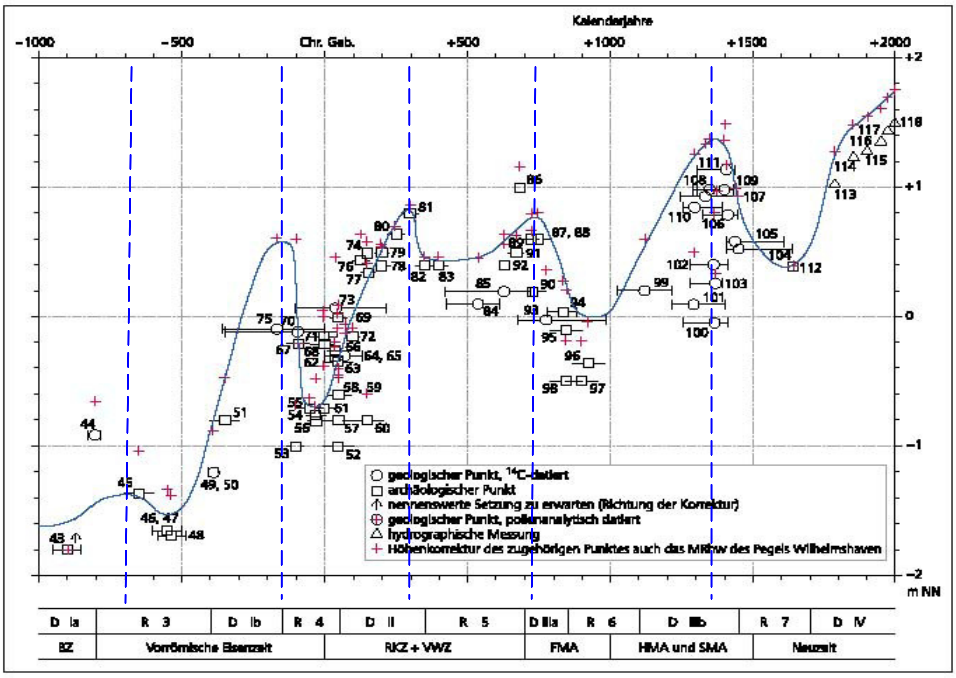


Abbildung 200, Quelle: K.E. Behre, “Probleme der Küstenforschung“, Band 28, Isensee-Verlag, 2003, zeigt die Meeresspiegelschwankungen an der deutschen Nordseeküste. Deutlich sind Schwingungen, mit einer mittleren Länge von ca. 510 Jahren zu sehen. Diese passen zu der vorherigen Abbildung, die zeigt, dass Anhand der Spektralanalyse eine Periode in der solaren Aktivität mit einer Länge von 504 Jahren vorhanden ist.

Über die direkte Sonnenaktivität hinaus, sind auch die Bahnparameter der Erde variabel. Langanhaltende periodische Änderungen in der solaren Einstrahlung, verbunden mit den Bahnparametern der Erde, sind die Milanković-Zyklen, die Änderungen in der Erdbahn, Neigung Erdachse, Änderung der Jahreszeiten auf der Erdbahn und Erdumlaufbahn um die Sonne beinhalten.

Milanković-Zyklen:

a) **Exzentrizität:** Form des elliptischen Orbits um die Sonne

Es findet eine Verschiebung der Sonneneinstrahlung zwischen den Erdhalbkugeln statt. Die Halbachsen können zwischen 0,005 und 0,058 variieren. Der Unterschied in der Sonneneinstrahlung variiert dabei zwischen 27 W/m^2 und 314 W/m^2 (Prof. Weber). Bei 0,0 sind beide elliptischen Halbachsen gleich (Kreisbahn). Mit zunehmender Exzentrizität wird die Erdbahn zunehmend zur Ellipse, wodurch sich im Laufe einer Umlaufbahn (Jahr) ständig der Abstand Erde zur Sonne und damit der Leistungseintrag ändert, was zu Temperaturschwankungen führen kann, aber nicht zwangsläufig führen muss, da Obligität und Präzession den Effekt entweder abschwächen, aber auch verstärken können. Es findet also eine Überlagerung statt.

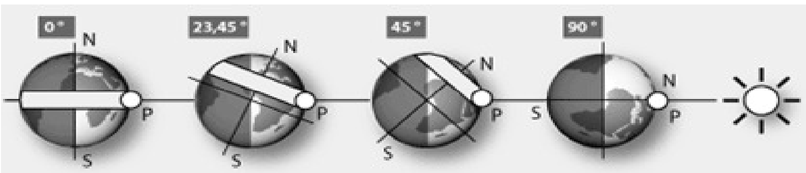
Gegenwärtig beträgt die Exzentrizität 0,0174, was 6,7% mehr Einstrahlung auf der Südhalbkugel bedeutet. Bei 0,058 beträgt der Unterschied ca. 28%. Die Periodendauer schwankt aus Gründen des Gravitationseinflusses der großen Planeten von 90.000 - 100.000 Jahre.

b) **Obligität:** Neigung der Erdachse

Bei starker Neigung gibt es ausgeprägtere Jahreszeiten und starke Schwankungen der absorbierten Sonnenenergie in den hohen Breiten. Die Schwankungsbreite beträgt 21,30° - 24,36°. Der heutige Wert liegt bei 23,47°. Auf der Nordhalbkugel (große Landmassen) wird die Abkühlung verstärkt, wenn die Neigung am geringsten ist. Schnee kann im Sommer wegen mangelnder Wärme nicht mehr ausreichend geschmolzen werden. Die Periodizität beträgt 40.000 - 41.000 Jahre. Die Sonneneinstrahlung variiert dabei um 30 W/m^2 (Prof. Weber).

Durch die Neigung der Erdachse ändert sich der Einstrahlwinkel der Sonnenstrahlung auf die Erde. Der Bereich, in dem diese senkrecht auf die Erde fallen, wird subsolare Zone genannt.

Mit zunehmender Neigung der Erdachse verschiebt sich die subsolare Zone (der Begriff wird überwiegend im englischen verwendet) mehr und mehr in die gemäßigten Zonen und damit in Richtung Nord- oder Südpol (folgende Abbildung). Dies hat zur Folge, dass die Sonneneinstrahlung zwischen Sommer und Winter in diesen Breiten mehr und mehr schwankt, was zu heißen Sommern und kalten Wintern führt. Es herrscht dann ein Klima, mit großen Temperaturschwankungen. Eine geringere Neigung der Erdachse führt demnach zu einem ausgeglicheneren Klima.



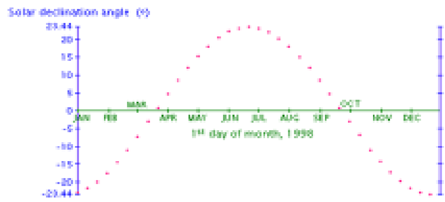


Abbildung 201 (Quelle: www.Biosphaere.info) zeigt die Lage der subsolaren Zone (Sonne steht senkrecht am Firmament) zur Obligität und die Abbildung rechts die ihre tatsächliche Wanderung über das Jahr, Quelle: (http://joseph-bartlo.net/supp/sungeo.htm).

c) **Präzession:** der Erdachse und des Orbits - Wanderung des Frühlingspunktes

Die Präzession (vom lateinischen praecedere = voranschreiten) moderiert das Timing der Jahreszeiten. Nach jeder Sonnenumrundung kehrt die Erde nicht mehr genau an ihre Ausgangsposition zurück, sondern „wandert" dabei in ihrem Orbit geringfügig vorwärts durch die Tierkreiszeichen. Derzeit erreicht die Erde z.B. ihre größte Nähe zur Sonne am 03. Januar. Der Zyklus dauert 25.780 Jahre. Dabei ändert sich nicht der Einstrahlungsbetrag, sondern der Zeitpunkt.

Mit Änderungen in der solaren Aktivität selbst, befassen sich die Milanković-Zyklen nicht. Daher soll an dieser Stelle nach langperiodischen Schwingungen gesucht werden, die den Milanković-Zyklen entsprechen.

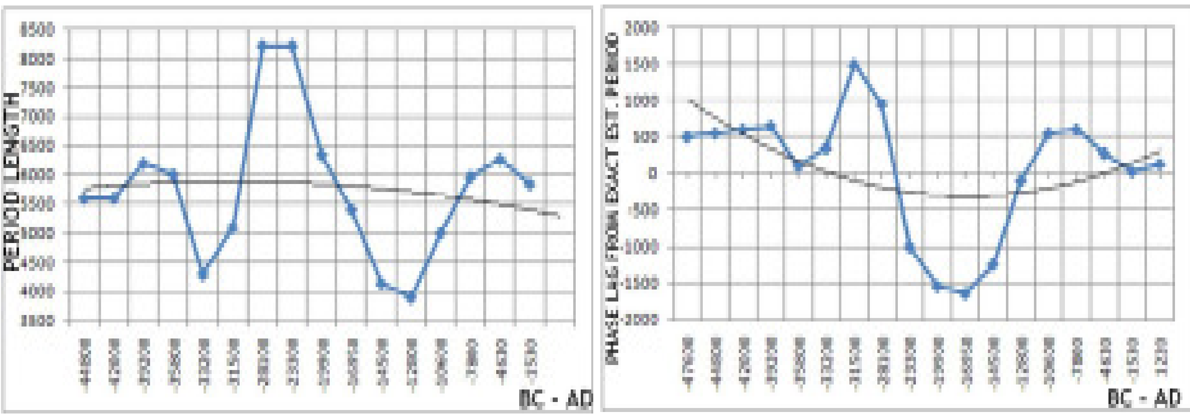


Abbildung 202: Periodenlänge (links) und Phasenverschiebung (rechts) des 5.800 Jahres-Zyklus, der Einfluss auf den 200- und den 2.300-Zyklus hat, Quelle: (http://garymorris93.cwahi.net/weather/solar_variations.html). Auffallend ist, dass während dem Höhepunkt der letzten Eiszeit, vor 20.000 Jahren, die Zykluszeit sehr lang und damit die solare Aktivität entsprechend gering war. Zum Ende der letzten Eiszeit vor ca. 12.500 Jahren erreichte die solare Aktivität hohe Werte (geringste Periodenlänge).

Es liegt der Schluss nahe, dass neben den Milanković-Zyklen, die die Abhängigkeit der solaren Einstrahlung zu den Bahnparametern der Erde wieder geben, zusätzlich die solare Aktivität in großen Zeitskalen stark schwankt und die Milanković-Zyklen, die die Änderung in der Erdbahn und damit verbunden, eine Änderung in der solaren Einstrahlung, die die Erdoberfläche erreicht beschreiben, die Einflüsse, die zu den Milanković-Zyklen führen, auch direkt die Sonnenaktivität ändern. Da die Milanković-Zyklen durch die Planeten des Sonnensystems verursacht werden und nach Landscheidt die Planeten die Sonnenaktivität auf kurzen und mittleren Zeitskalen moderieren, liegt der Schluss nahe, dass die Planeten nicht nur die Zeitintervalle der Erdbahnparameter, sondern auch die Sonne selbst auf langen Zeitskalen beeinflussen.

Die spannende Frage, wann oder ob sich die seit etwa 3 Millionen Jahre beobachteten Eiszeit-intervalle fortsetzen, lässt sich anhand der derzeit vorliegenden Erkenntnisse über die solare Aktivität nicht beantworten. Sie lässt sich derzeit in erster Linie statistisch bewerten.

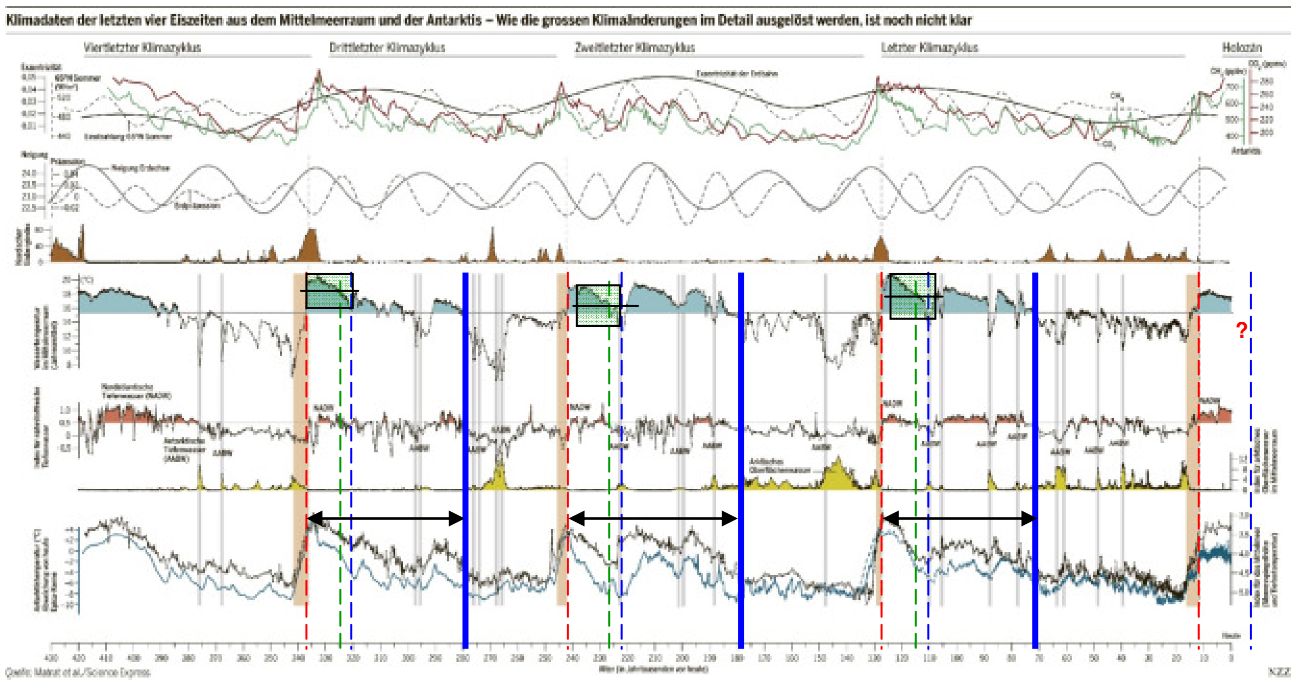


Abbildung 203, Quelle: NZZ vom 11. Juli 2007, "Genauere Informationen über die abrupten Klimaänderungen der Eiszeiten" (Original: Matrat et al.) zeigt oben die Bahnparameter der Erde, Mitte, die Temperatur im Mittelmeerraum und unten, in der Antarktis. Im Betrachtungszeitraum sind drei ganze Eiszeitperioden zu sehen. Nach jedem Temperaturmaximum (rote gestrichelte Linie) kommt es zu einem typischen

Temperaturrückgang nach gleichem Muster (blaue gestrichelte Linie). Die Zeitspanne dazwischen ist relativ konstant und beträgt ca. 18.000 Jahre. Die grüne gestrichelte Linie markiert den Zeitpunkt (ca. 13.700 Jahre nach Max), in dem die Temperatur dort ihren Mittelwert erreicht, also den Übergang zu kälteren Temperaturen im Betrachtungszeitraum durchschreitet.

Wie die Abbildung weiter zeigt, lag in den vergangenen drei Eiszeiten die großräumige Vereisung (blaue, durchgezogene Linie) in einem deutlichen Zeitabstand zum Temperaturmaximum. Die Zeitabstände sind wieder relativ konstant und legen den Beginn 55 - 60 tsd. Jahre nach Beginn des Temperaturmaximums. Inwieweit diese Temperaturmuster auf den jetzigen Zyklus, dessen Warmzeit vor ca. 12.500 Jahren begann, übertragen werden können, ist, wie eingangs genannt, derzeit wissenschaftlich nicht zu beantworten. Nach der statistischen Fortschreibung, stünde das Unterschreiten des Mittelwertes, also der Begin zu dauerhaft kühleren Jahren (blaue gestrichelte Linie)in ca. 1.200 Jahren an. Anhand der bekannten solaren Zyklen, beginnt zu diesem Zeitpunkt das solare Minimum im nächsten Hallstatt-Zyklus. Nach weiteren 5.000 Jahren beginnt der erste Kältezyklus. Dessen Dauer beträgt anhand der vorherigen Zyklen 2 - 3 tsd. Jahre.

Eine großräumige Vereisung, was allgemein mit dem Begriff "Eiszeit" assoziiert wird, steht nach dieser statistischen Betrachtung erst in ca. 42 tsd. Jahren an. Wissenschaftsberichte, wie "Verhinderte der Mensch eine Eiszeit" aus S.d.W. 02/06, der folgenden Untertitel trägt: *"Anscheinend haben schon die Bauern der Jungsteinzeit einen bedeutenden Treibhauseffekt ausgelöst, als sie bei der Rodung von Wäldern und dem Anbau von Nassreis große Mengen Kohlendioxid und Methan freisetzten"* sind denn vor dem Hintergrund der realen Temperaturereignisse der letzten Eiszeiten, in denen die erste Warmepoche im Durchschnitt 18.000 Jahre andauert, blühender Unsinn und als solcher nicht zu überbieten. Es ist der tragische, zum scheitern verurteilte Versuch, einen nicht existierenden Effekt, den Treibhauseffekt herleiten zu wollen. Im vorliegenden Fall aus der Geschichte der Menschheit, um ihm damit eine vermeintliche Realität geben zu wollen. Aber auch hier hält der Wunsch der Wirklichkeit nicht stand. Anstatt weiter den Fokus in Richtung sog. THG zu lenken, sollten die Mittel besser in die Sonnenforschung investiert werden, um ihr die Geheimnisse zu entreißen, die uns die Frage beantworten, wann sich die klimatischen Bedingungen auf der Erde wirklich ändern.

Für Langfristbetrachtungen der Temperaturentwicklung werden, wie bereits geschildert, die Milanković-Zyklen herangezogen. Dies ist darauf begründet, dass das Klima der letzten 3 Millionen Jahre, als die Erde wieder größere Vereisungen aufweist, zwischen zwei Zeitzyklen, die den Milanković-Zyklen entsprechen, pendelt (folgende Abbildung)

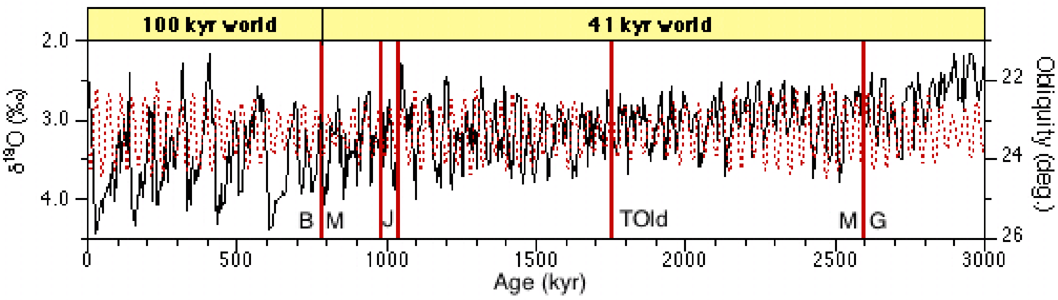


Abbildung 204, Quelle: (http://www.moraymo.us/current_projects.php) zeigt die aus dem Sauerstoffisotopenverhältnis ermittelten Temperaturschwankungen der letzten 3 Millionen Jahre. Von 3 Mio. Jahren bis vor ca. 700.000 Jahren schwankte die Temperatur zyklisch in Zeiträumen von 41.000 Jahren. Danach wechselte der Zyklus zu 100.000 Jahren. Der 41 ky-Zyklus steht allgemein für die Obligität und der 100 ky-Zyklus für die Exzentrizität. Der Grund für diesen Wechsel ist in der Wissenschaft nicht verstanden. Rot gepunktet = Obligität, B/M = Brunhes–Matuyama-Event, J = Jaramillo-Event, Told = Top of Olduvai-Event, G/M = Gauss/Matuyama - Event (jeweils Wechsel im Magnetfeld der Erde). An der Gauss/Matuyama-Grenze beginnt das Quartär, also die jüngste Erdepoche, die auch als Eiszeit bekannt ist.

Da in der Abbildung 203 zu dem Temperaturgang, sowohl alle drei maßgeblichen Milanković-Zyklen (Präzession, Obligität und Exzentrizität), sowie die daraus berechnete solare

Einstrahlung für 65° Nord aufgezeigt sind, sollen ihre Extrema an der Temperaturentwicklung gespiegelt werden. In der ersten Abbildung, die Extrema von Präzession, Obligität und Exzentrizität.

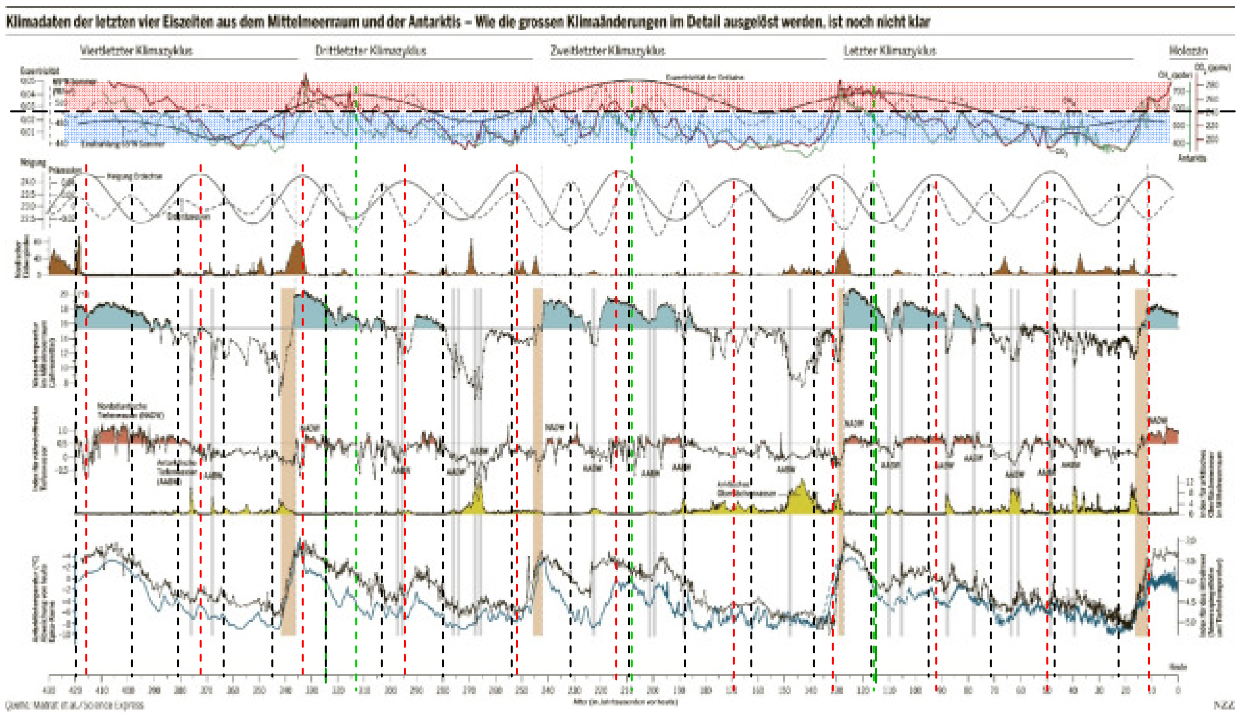


Abbildung 205: Die Erdbahnparameter (Präzession und Exzentrizität), sowie die Neigung der Erdachse (Obligität), die die Einwirkung der Solarstrahlung auf der Nord-/Südhalbkugel moderiert, sind ganz oben, bzw. direkt darunter zu sehen. Die längste Periode hat die Obligität. Deren Maxima (Erdbahn besonders elliptisch) fallen jeweils mit Warmperioden der Eiszeitepochen zusammen (grüne gestrichelte Linien). Dies passt nicht zur Theorie, da eine Kreisbahn die Erde am nächsten zur Sonne bringt. Extrema der Obligität (rote gestrichelte Linien) und Präzession (schwarze gestrichelte Linien) haben überhaupt keine Übereinstimmung zu Temperaturereignissen auf der Erde. Beide fallen sowohl mit Warm- als auch mit Kaltzeiten zusammen. Ganz oben sind noch die Pegel von CO_2 und CH_4 zu sehen die zu gar nichts passen.

Matrat et al. haben in Ihrer Datenreihe anhand der Milanković-Zyklen auch den berechneten Wert für die solare Einstrahlung für 65° nördlicher Breite angegeben. Dieser geographische Bereich ist besonders von Eiszeiten betroffen und dementsprechend dynamisch.

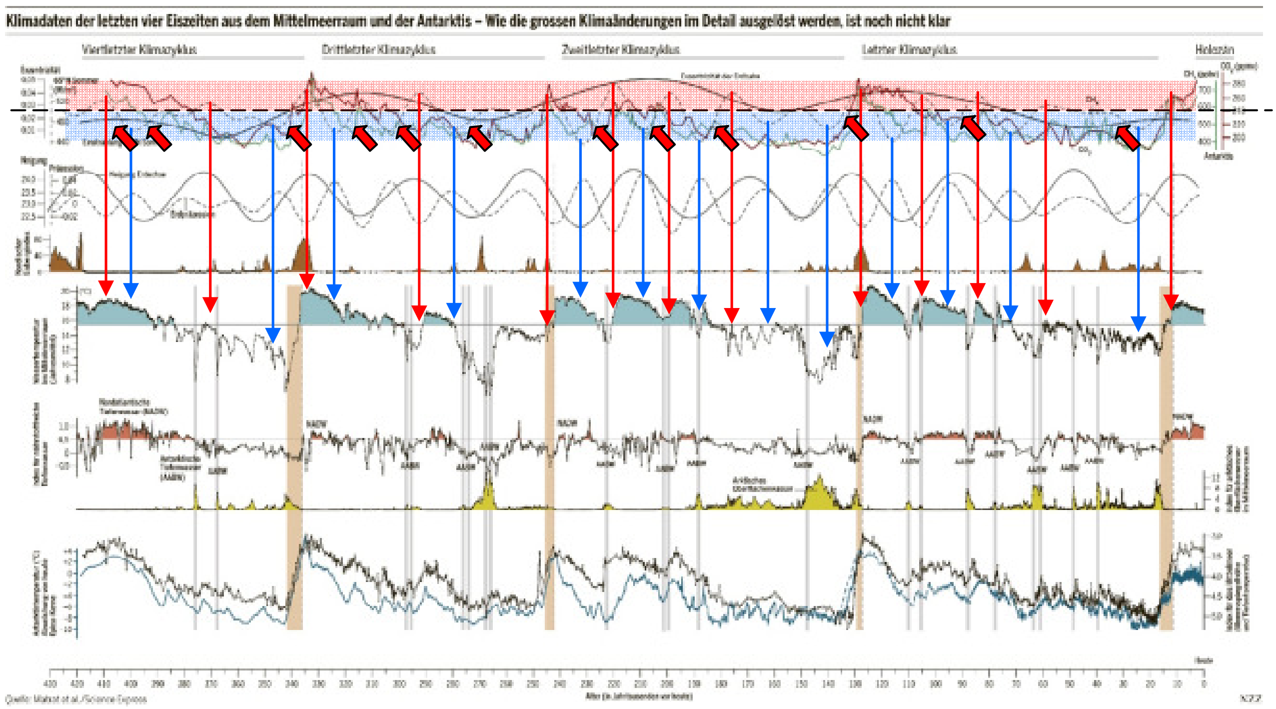


Abbildung 206: Die gestrichelte schwarze Datenreihe zeigt die Dynamik der solaren Einstrahlung für die letzten 420.000 Jahre für 65° Nord. Sie schwankt etwa zwischen 440 W/m^2 und 550 W/m^2. Der Autor hat die Bereich über dem Mittelwert rot (wärmer) und die Bereiche unter dem Mittelwert blau (kälter) gekennzeichnet. Manche Maxima/Minima in der berechneten solaren Einstrahlung stimmen mit dem Temperaturgang überein, andere wiederum nicht. Teilweise müsste es wärmer werden, wird aber kälter und teilweise kälter, wird aber wärmer (rote Blockpfeile). Zwei Beispiele: Am ersten Blockpfeil fällt die solare Einstrahlung stark ab, die Temperaturen bleiben aber konstant warm. Am dritten Blockpfeil steigt die solare Einstrahlung stark an, die Temperatur fällt jedoch auf ein absolutes Minimum. Rote Pfeile geben die Maxima und blaue Pfeile der Minima wieder.

Die Milanković-Zyklen geben kein einheitliches Bild zum Temperaturgang wieder, was auch in der folgenden Abbildung sichtbar wird.

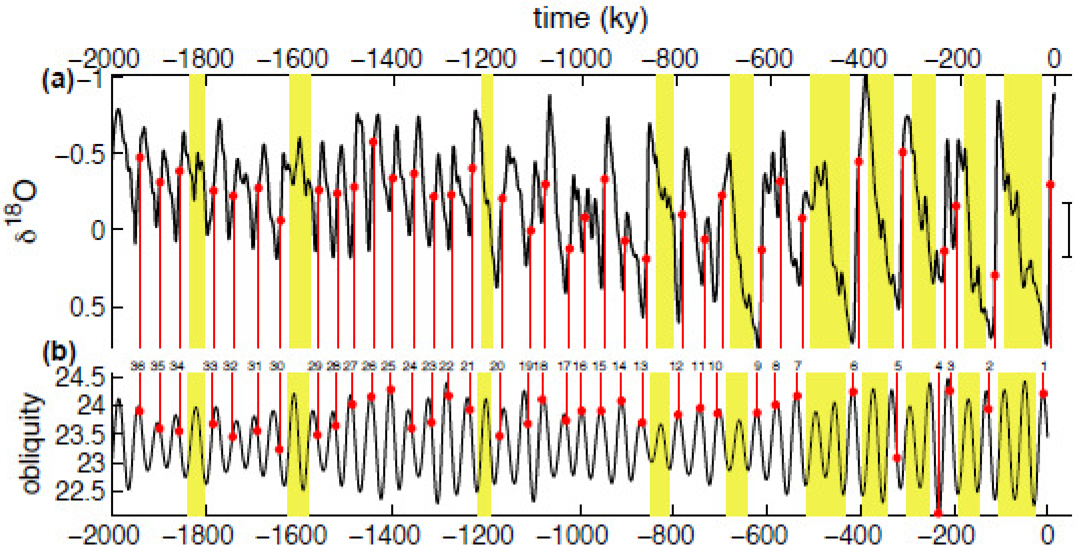


Abbildung 207, Quelle: "Pleistocene glacial variability as a chaotic response to obliquity forcing", P. Huybers, Department of Earth and Planetary Sciences, Harvard University (2009), zeigt unten die Obligität und oben die aus ^{18}O rekonstruierte Temperatur. Die Ganglinien sind uneinheitlich zueinander.

Wenn die Milanković-Zyklen die Temperaturentwicklung nicht eindeutig genug wiedergeben, sog. THG keine Rolle spielen, schon allein deswegen nicht, weil z.B. CO_2 der Temperatur nachläuft und nicht vorläuft, bliebe noch die variable Sonne, die die Temperaturzyklen steuert.

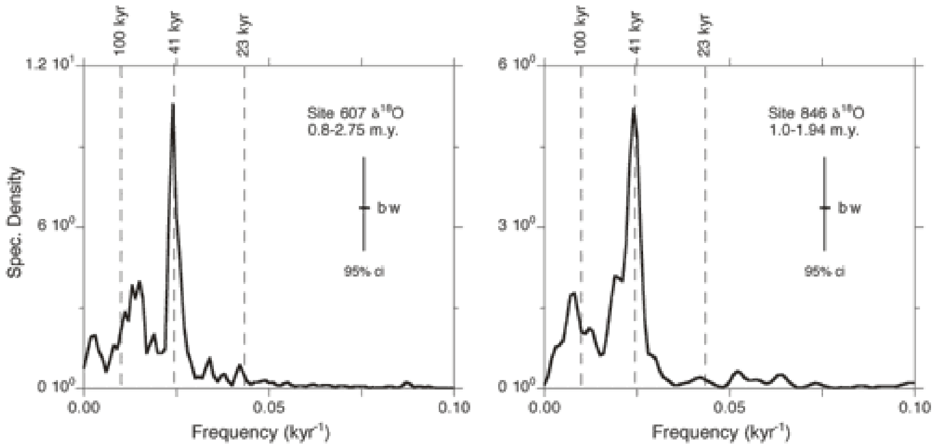


Abbildung 208 zeigt das Frequenzspektrum der Temperaturdaten im Pleistozän. In beiden Arbeiten bilden sich Maxima bei 23 ky, 41, ky und 100 ky aus, die den Milanković-Zyklen zugeordnet werden, Quelle: (http://www.moraymo.us/current_projects.php).

Gibt es Sonnenaktivitätszyklen, die in ihrer Länge den Milanković-Zyklen entsprechen – Ja!

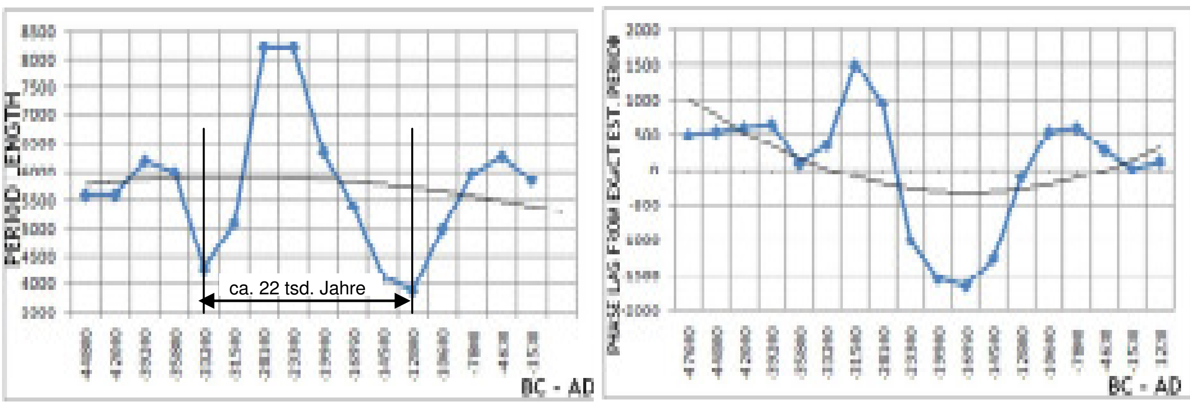


Abbildung 209 (http://garymorris93.cwahi.net/weather/solar_variations.html): Der 6.000-jährige Sonnenzyklus, der den Hallstatt-Zyklus moderiert zeigt, dass ihm ein Zyklus mit einer Länge von ca. 22.000 Jahren übergeordnet ist. Darüber hinaus gibt es einen 100.000 Jahres-Zyklus in der Sonnenaktivität, der damit dem Milanković-Zyklus der Exzentrizität entspricht, Abbildung 210.

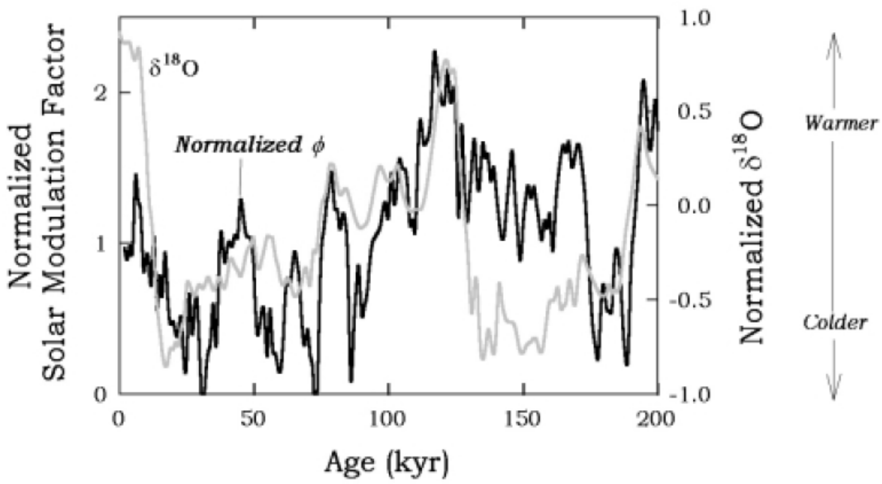


Figure 1. A comparison between the calculated solar modulation factor and the stacked oxygen-isotope record of the oceans.

Abbildung 210 ist ein Auszug aus der Arbeit von **Prof. Dr. Mukul Sharma** und zeigt den 100.000 jährigen Sonnenzyklus und dazu als Kalibrierung, den ^{18}O-Gahalt aus Proxys. Sauerstoff kommt in drei Isotopen vor, ^{16}O, ^{17}O und ^{18}O. Bei Warmperioden verdunstet zuerst das leichtere ^{16}O, so dass die Menge des in den Proxys (z.B. Sedimenten) eingelagerten ^{18}O, Aufschlüsse über die seinerzeit vorherrschenden klimatischen Verhältnisse wiedergibt. In "astronews.com" vom 11. Juni 2002 ist hierzu folgendes festgehalten:

"Die magnetische Aktivität der Sonne zeigt einen 100.000 Jahre langen Zyklus, der offenbar mit einem gleichlangen Zyklus des irdischen Klimas in Einklang steht. Das zeigen Untersuchungen des Geochemikers Mukul Sharma vom Dartmouth College in Hanover im US-Bundesstaat New Hampshire. Der Forscher veröffentlichte seine Analyse jetzt im Fachblatt Earth and Planetary Science Letters. Sharma vergleicht darin die Produktionsrate des radioaktiven Isotops Beryllium-10 mit den Variationen des irdischen Magnetfelds. "Überraschenderweise zeigt sich in den Daten eine Variation der Sonnenaktivität über wesentlich längere Zeitspannen als bislang vermutet", so Sharma. "Noch überraschender ist, dass diese Variationen offenbar eng mit den Eiszeiten und Zwischeneiszeiten der vergangenen 200.000 Jahre verknüpft sind."

"Beryllium-10 wird durch hochenergetische Teilchen erzeugt, die aus dem Weltall in die Erdatmosphäre eindringen. Die Stärke dieser "kosmischen Höhenstrahlung", und damit die Erzeugungsrate von Beryllium-10, werden sowohl durch die Sonnenaktivität, als auch durch die Stärke des Erdmagnetfelds gesteuert. Da die Stärke des Erdmagnetfelds in den letzten 200.000 Jahren gut bekannt ist, konnte Sharma aus den Beryllium-Daten auf die Schwankungen der Sonnenaktivität schließen."

"Für die Entstehung der Eiszeiten hatten die Klimaforscher bislang geringfügige Schwankungen der Erdbahn verantwortlich gemacht. Allerdings führen diese Variationen nur zu minimalen Änderungen der Sonneneinstrahlung. Wie diese kleinen Änderungen zu den großen Unterschieden zwischen Eiszeiten und Zwischeneiszeiten führen können, ist bislang ungeklärt. Sharma betont allerdings, dass auch seine These der weiteren Überprüfung bedarf: "Ich habe nur auf die vergangenen 200.000 Jahre geschaut - meine Berechnungen müssen nun für die letzte Million Jahre verifiziert werden."

Der Grund, warum die Milanković-Zyklen, also die Veränderung der Erdbahnparameter und der daraus berechneten solaren Einstrahlung den Temperaturgang, sowie Eiszeiten nicht eindeutig wiedergeben, liegt denn daran, dass die „Akteure", die die Erdbahnparameter beeinflussen, die Planeten des Sonnensystems, hier die großen Gasplaneten, auch die Sonne direkt beeinflussen und hiermit deren magnetische Aktivität und damit ihre Energieabgabe (siehe auch Dr. Landscheidt). Dies ist bei den Milanković-Zyklen nicht berücksichtigt. Dies ist das fehlende Glied, die Sonne selbst, den Temperaturgang im Pleistozän zu erklären und damit den Beginn und das Ende von Eiszeiten. Der Wechsel zwischen dem 41 ky-Zyklus und dem 100 ky-Zyklus sollte auf Veränderungen der dynamischen Plasmamassen in der Tachocline und der Konvektionszone der Sonne zurückzuführen sein.

Von besonderem Interesse ist dabei, wie bereits gezeigt, die Tachocline, die als Ursprungszone für den Sonnendynamo gilt. Inwieweit deren Lage und Dicke, die beide die Magnetfelder in der Konvektionszone beeinflussen und damit die Energieabgabe der Sonne, über die Zeit konstant sind, ist nicht bekannt. Ist Dicke und/oder Lage der Tachocline variabel, hat dies natürlich Einfluss auf die magnetische Aktivität der Sonne. Bis vor ca. 10 Jahren wurde noch angenommen, dass die Tachocline konstant ist. Untersuchungen mittels Helioseismologie ergaben jedoch, dass sie in einem 16-Monatsrythmus oszilliert und in starker Wechselbeziehung mit der Strahlungszone steht.

Tachocline

Die Tachocline bildet die Grenzschicht zwischen starrer innerer Rotation der Sonne (obere Grenzschicht der Strahlungszone) und dynamischer Rotation in der Konvektionszone, deren Rotationsgeschwindigkeit erheblich von der der Strahlungszone abweicht. An der Grenzschicht kommt es wegen der stark unterschiedlichen Rotation zu einer starken Scherung. Diese Grenz-schicht wird Tachocline genannt (folgende Abbildung). Die in der Konvektionszone

entstehenden Magnetfelder dringen bis zur Tachocline vor und werden durch die Scherung dort aufgewickelt, wodurch toroidale Felder entstehen, deren Feldlinien in Richtung der Rotationsgeschwindigkeit zeigen. Ab bestimmten Schwellwerten (“Instabilities in the Magnetic Tachocline“, R. Arlt, Astro-physikalisches Institut Potsdam) in der Feldstärke, kommt es zu Instabilitäten in der Tachocline.

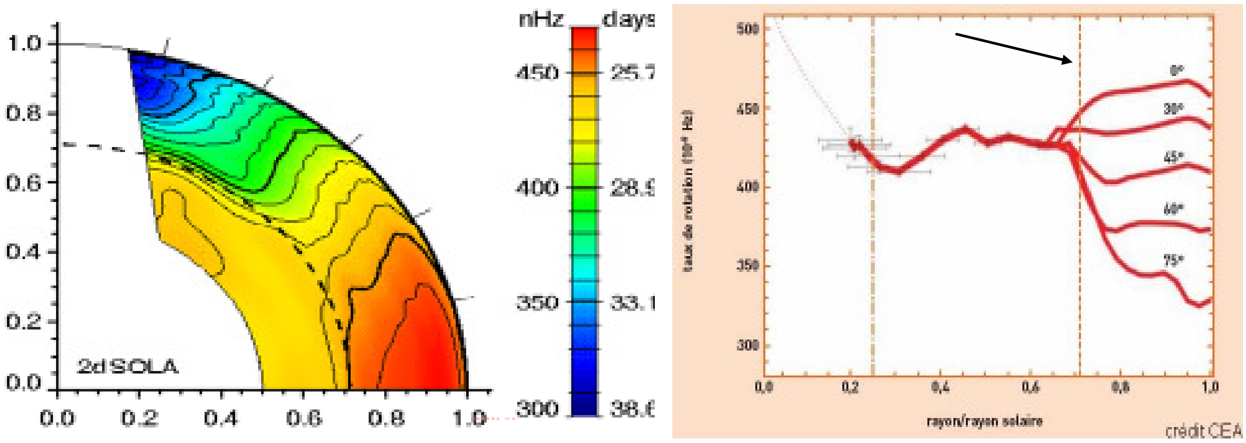


Abbildung 211 links (http://lcd-www.colorado.edu/SPTP/sptp_global.html) zeigt die Lage der Tachocline zum Sonnenradius und farbig die Rotationszeit. Die Abbildung rechts zeigt die Änderungen der Rotation zum Sonnenradius und zur geographischen Breite. Schwarzer Pfeil kennzeichnet die Tachocline, Quelle: (http://irfu.cea.fr/Sap/Phys/Sap/Activites/Projets/GOLF/science/page.shtml). Deutlich ist zu sehen, dass die differenzielle Rotationen im Bereich der Tachocline beginnt und diese damit ein wesentlicher Faktor für den Sonnenmagnetismus darstellt.

Die Tachocline bestimmt die Helizität (Drehrichtung, kann nur dort geändert werden, da sie die Basis für den Sonnenmagnetismus bildet) der Megnetfeldlinien, d.h. in welcher Form (rechtshändig = positiv / linkshändig= negativ) die Magnetfelder aufsteigen, bzw. abfallen. Dies ist entscheidend für eine Verstärkung oder Abschwächung der magnetischen Felder in der Konvektionszone. Die Lage der Tachocline liegt derzeit in Äquatornähe bei r_t = 0,693 Sonnenradien und bei 60° bei r_t = 0,717 Sonnenradien. Sie hat also eine prolate Form, womit sie der Rotationsformgebung, nach der rotierende Körper am Äquator am größten sind, wie auch alle Planeten entgegen läuft. Die Sonne selbst ist über Äquator und Pol etwa gleich. Da die Grenzfläche zwischen der Strahlungszone und Konvektionszone bei 0,713 Sonnenradien liegt, durchschneidet die Tachocline diese Grenzfläche. Die Tachocline hat eine Dicke von ca. 30.000 km.

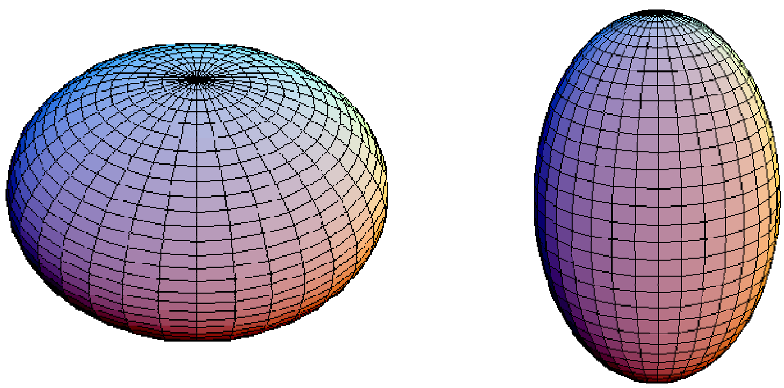


Abbildung 212 links: Durch Drehung abgeplattetes Rotationsellipsoid (oblate)
Abbildung 212 rechts: Durch Drehung verlängertes Rotationsellipsoid (prolat)

Wie eingangs geschildert, wurde nach Entdeckung der Tachocline vor gut 20 Jahren allgemein angenommen, dass es sich bei der Tachocline um ein weitgehend stabiles Gebilde handelt.

Seit Ende der 1990-Jahre ist jedoch bekannt, dass die Tachocline hoch dynamisch ist und auf kurzen Zeitskalen mit einer Periodendauer von 16 Monaten pulsiert (folgende Abbildung).

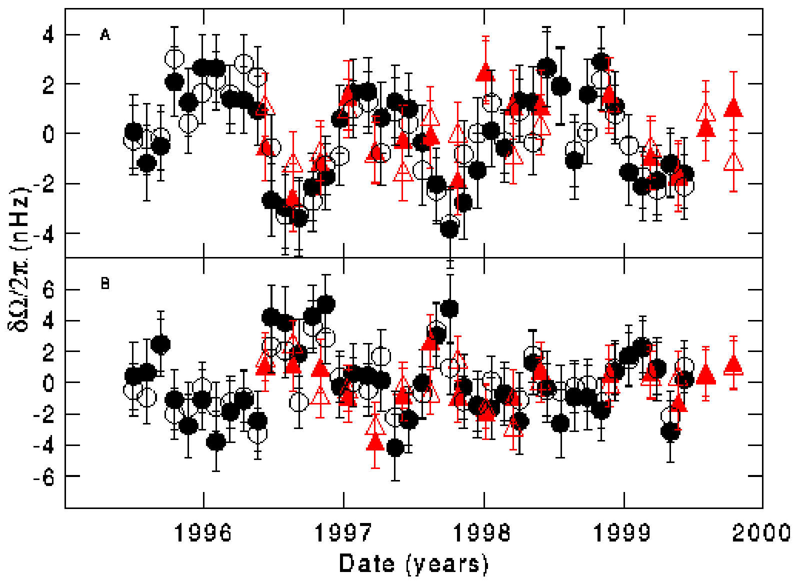


Abbildung 213, Quelle: (http://soi.stanford.edu/press/GONG_MDI_03-00/pressbase.gif) zeigt die Oszillation im Sonneninneren (0,72 Sonnenradius oben und 0,63 Sonnenradius unten). Deutlich die die 16-Monatsschwingung zu sehen und dies in Gebieten, über die Tachocline hinaus. Das darin enthaltene Gas rotiert mal schneller und mal langsamer. Rot sind nach MDI (Michelson Doppler Imager, SOHO) und schwarz nach GONG-Daten (Global Oscillation Network Group). *"Entdeckt wurden die von niemand vorausgesagten Strömungen in vierjährigen Meßreihen des MDI-Instruments auf dem Satelliten SOHO und des GONG-Netzes von Sonnenteleskopen rund um die Erde.*" (http://www.astro.uni-bonn.de/~dfischer/news/SuW-L-1-10.html)

Nach der gängigen Theorie von Rüdiger und Kitchatinov (1997) wird angenommen, dass während der Entstehung der Tachocline ein schwaches Magnetfeld in der Sonne eingeschlossen wurde, welches die differenzielle Rotation in den äußeren Randbereich der Strahlungszone drängt und so die Tachocline erzeugt wird. Weiter geht die Theorie davon aus, dass die Tachocline aktiv mit der Strahlungszone verbunden ist und starke Wechselbeziehungen bestehen, was auf Grund ihrer Lage auch naheliegend ist.

Inwieweit die Tachocline über ihre von niemanden vermutete Oszillation auf großen Zeitskalen konstant oder variabel ist, lässt sich aus heutiger Sicht nicht beantworten, bzw., ob die Tachocline ihre prolate Form beibehält, oder zwischen prolat und oblat wechselt, was erheblichen Einfluss auf die magnetische Aktivität der Sonne haben sollte. Weiter muss davon ausgegangen werden, dass Einflüsse, die z.B. die Erdachse kippen lassen, ihre Obligität ändern, auch Einfluss auch die Tachocline haben und deren Lage in der Sonne ändern. Insbesondere bei einem möglichen Wechsel in der Form und Lage der Tachocline wäre mit erheblichen Einflüssen auf das Magnetfeld der Sonne zu rechnen, wobei in einer Übergangszeit das Magnetfeld in der Konvektionszone ganz verschwinden kann und dadurch lang anhaltende Kälteperioden auf der Erde ausgelöst werden. Ob weiter, die Tachocline zwischen prolat (derzeit) und oblat wechselt, ist ebenfalls ein interessanter Aspekt, um den Sonnendynamo besser verstehen zu können. Ausgeschlossen werden, sollte ein solcher Wechsel nicht. Interessant ist in dem Zusammenhang, dass die letzte Eiszeitepoche exakt an der Gauss-Matuyama-Grenze vor 2,588 Mio. Jahren liegt, als sich das Magnetfeld der Erde umpolte. Zufall ist dies sicherlich nicht. Inwieweit die „Akteure", die die Erdbahnparameter ändern, die Sonne im Raum wobbeln/wackeln lassen, nach Landscheidt das Barryzentrum ändern, auch auf die Konvektionszone und Tachocline der Sonne und auf die dynamischen Massen im Erdmantel*), die letztendlich die Magnetfeldpolarität bestimmen, parallel Einfluss nehmen und somit z.B. Eiszeiten auslösen, lässt sich wissenschaftlich derzeit noch nicht beantworten, sollte aber Inhalt weiterer Forschungsarbeiten sein, da der Autor davon ausgeht, dass darin der Schlüssel für das Verstehen des Erdklimas auf allen Zeitskalen liegt.

*) In meinem EIKE-Artikel „Gibt es einen Zusammenhang zwischen Sonnenfleckenaktivität und Erdbeben-/Vulkantätigkeit?“ (http://www.eike-klima-energie.eu/news-anzeige/gibt-es-einen-zusammenhang-zwischen-sonnenfleckenaktivitaet-und-erdbeben-vulkantaetigkeit/) hatte der Autor gezeigt, wie sowohl die Erdbebenaktivität, als auch die Vulkanaktivität mit der Aktivität synchron laufen. Dass Gravitationseinflüsse anderer Planeten auf den Vulkanismus Einfluss nehmen, lässt sich übrigens am Beispiel des Jupitermonds „Jo“ sehr gut beobachten. Er hat den stärksten Vulkanismus im gesamten Sonnensystem. Grund dafür ist die Gravitationskraft des Jupiters auf Jo, der eine elliptische Bahn um seinen Planeten vollführt, aufgrund dessen seine innere Form konstant „durchgeknetet“ wird.

Da die Wissenschaft die Sonne erst seit ein paar hundert Jahren beobachtet und dieser Zeitraum im Lebenslauf der Sonne verschwindend klein ist, kann anhand der heutigen Beobachtungen nicht festgestellt werden, inwieweit die derzeitigen solaren Aktivitätsschwankungen auch für die Zeiträume davor galten, bzw. weiter gelten werden. Hier ist es hilfreich, andere Sterne, die etwa der Sonne entsprechen, zur Beantwortung heran zu ziehen.

Durch immer bessere Messsysteme gelang es Astrophysikern in den letzten Jahren, eine Vielzahl von Sternen mit magnetischer Aktivität zu erforschen. Beispielsweise befasst sich die Emmy Noether Research Group am Institut für Astrophysik der Uni Göttingen in einem groß angelegten Forschungsprogramm (“Magnetische Aktivität sonnenähnlicher Sterne und ultrakalter "Brauner Zwerge“) mit der Thematik. Deren Ergebnisse liegen derzeit noch nicht vor, da das auf 5 Jahre angelegte Projekt noch am laufen ist. Einzelbeobachtungen zeigten bereits einige Überraschungen, die darauf hindeuten, dass auch unsere Sonne Aktivitätsschwankungen unterliegt, die sich auf mehr als nur 0,1% im TSI-Strahlungsbereich, wie es die einschlägigen Veröffentlichungen des TSI zeigen und darüber hinaus, die Aktivitätsschwankungen ganz zum erliegen kommen.

Wissenschaftler vom Smithsonian Center für Astrophysics und das Dartmouth College in Hanover (US-Bundesstaat New Hampshire, “Evidence for long-term brightness changes of solar-type stars“) untersuchten 74 Sterne auf ihre magnetische Aktivität. Die Messreihen gingen dabei teilweise über 23 Jahre. Anhand ihrer Untersuchungen stellten die Forscher fest, dass ca. 2/3 der Sterne ähnliche Aktivitätsschwankungen unterliegen, wie die Sonne, wogegen ca. 1/3 überhaupt keine Aktivitätsschwankungen aufweisen. Unter der Annahme, dass sich die Sterne gleich verhalten, schlossen Sie daraus, dass stellare Objekte wie die Sonne grundsätzlich zwischen zwei Aktivitätsschema pendeln, einer aktiven Phase und einer passiven Phase, ohne jegliche Aktivitätsschwankungen, wie die Sonne während dem Maunder Minimum. In einer Ruhephase strahlt (TSI-Bereich) ein Stern ca. 0,4% weniger als in einer aktiven Phase. Bei dem Stern HD 3651 (“Piscium“ im Sternbild Fische, HD steht für Henry-Draper-Katalog) konnte dieser Übergang, von der Phase ausgeprägter zyklischer Aktivität, in die Maunder-Minimum-Phase mit sehr geringer magnetischer Aktivität beobachtet werden (Nesme-Ribes, E., Baliunas, S. L. und Sokoloff, D.: “The stellar dynamo“, Scient. American, August 1996, 51-52).

Die bisherige Datenlage zeigt, dass der Übergang von der Aktivitätsphase in die passive Phase zum einen, nach starker magnetischer Aktivität und zum anderen, der Wechsel abrupt erfolgt. Dies spricht dafür, dass die Prozesse in der Konvektionszone, die einen starken solaren Zyklus antreiben, bei ihrer Umkehrung, neue magnetische Aktivität, umso länger und stärker dämpfen, je stärker die vorangegangene magnetische Aktivität im Hauptsonnenzyklus ist. Bei der Sonne ist dies der de Vries/Suess-Zyklus. Dies würde auch erklären, warum nach jedem Maximum im de Vries/Suess-Zyklus die Temperaturen auf der Erde stark abfallen.

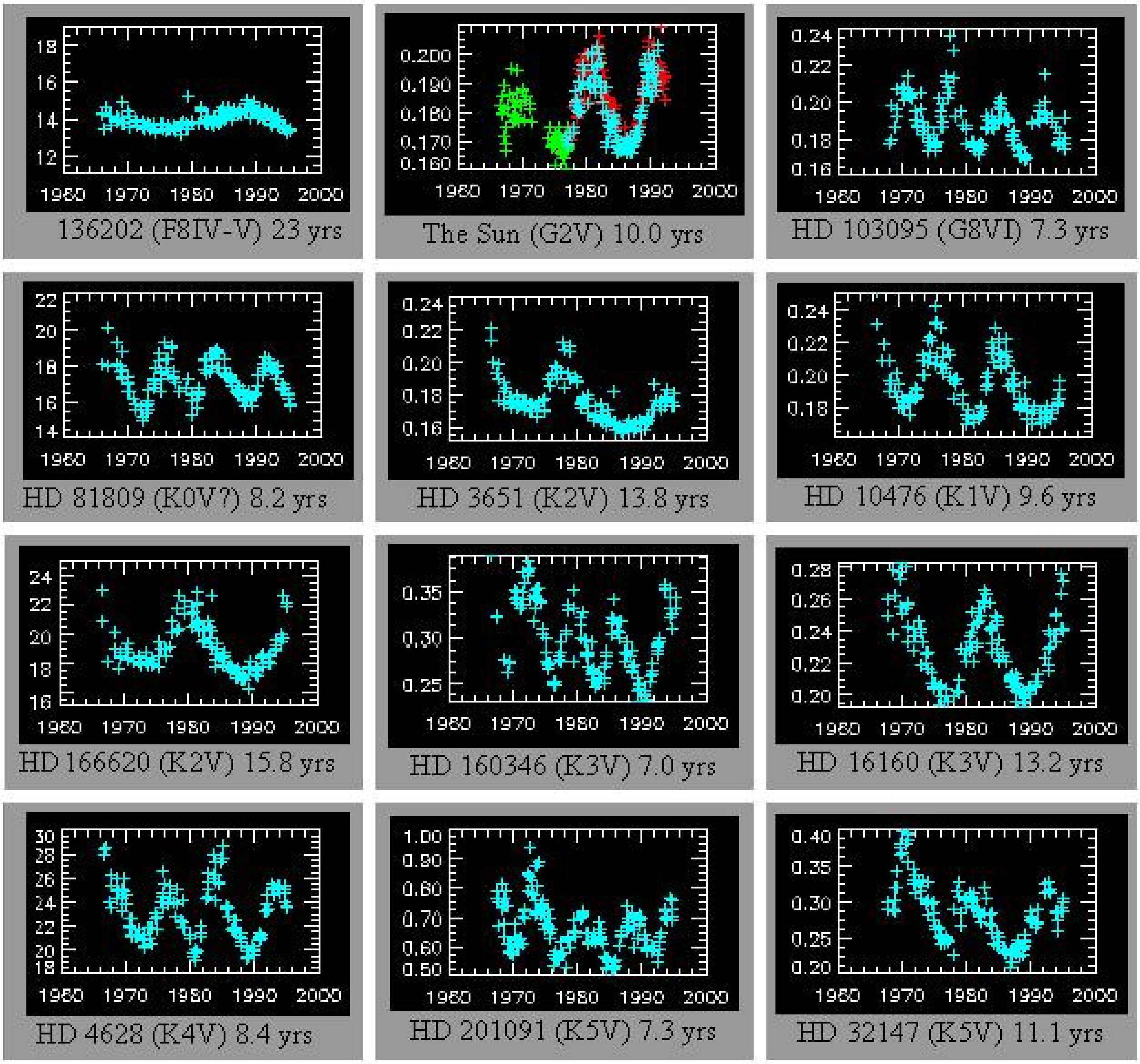
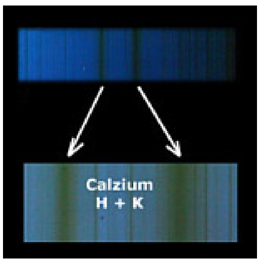


Abbildung 214, Quelle: (http://solar.physics.montana.edu/reu/2004/awilmot/introduction.html), zeigt am Beispiel von 11 Sternen, dass diese ähnliche Muster in ihren Aktivitätsschwankungen wie die Sonne (oben Mitte) aufweisen, was auf magnetische Aktivitätszyklen zurückzuführen ist und die Ausgangsthese vom Smithsonian Center für Astrophysics, dass sich die Sterne gleich verhalten, zu bestätigen scheint. Ausgewertet wurde die Ca II H and K-Linien.



Die Ca II H and K-Linien dienen zur Helligkeitsbestimmung von Sternen und gehen auf Joseph Fraunhofer zurück, der mit dieser Methodik die Sterne klassifizierte und die hellsten mit Großbuchstaben nummerierte. Die Nummerierung beginnt im roten Teil des Spektrums und endet im blauen. Die Calzium II-Linien liegen bei 397 nm (H-Linie) und 393nm (K-Linie) Wellenlänge. Die römische Ziffer kennzeichnet den Ionisationsgrad (I = neutral, II = einfach ionisiert, III = zweifach ionisiert, u.s.w.).

Die Datenreihen in Abbildung 214 zeigen weiter, dass die Aktivitätsschwankungen zeitlich sehr ähnlich sind und in der Amplitude meist deutlich stärker ausfallen als bei der Sonne. Bei HD 152391 (folgende Abbildung) fallen die Schwankungen gar fast 5-mal so stark aus wie auf der Sonne, was natürlich in erster Linie auf seine im Vergleich zur Sonne erhöhte Rotationsrate zurückzuführen ist.

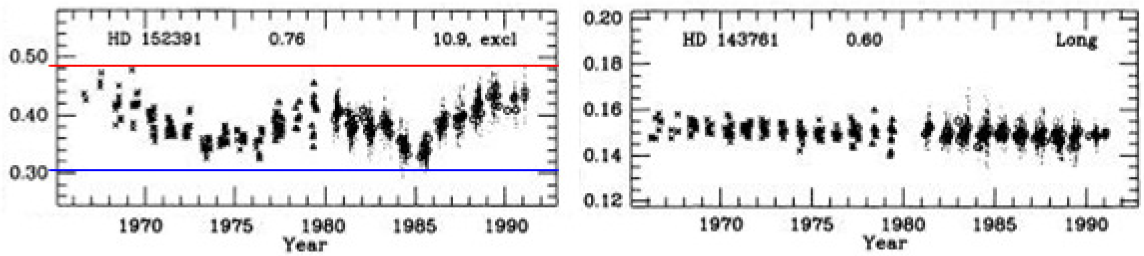


Abbildung 215 links zeigt die Aktivitätsschwankungen des Sterns HD 152391, der mit 0,92 Sonnenmassen und einer Oberflächentemperatur von 5.500 Kelvin der Sonne sehr ähnlich ist. Rechts der Stern HD 143761, der nahezu keine Aktivitätsschwankungen aufweist, sich also in einer ruhigen Phase befindet, Quelle, wie oben.

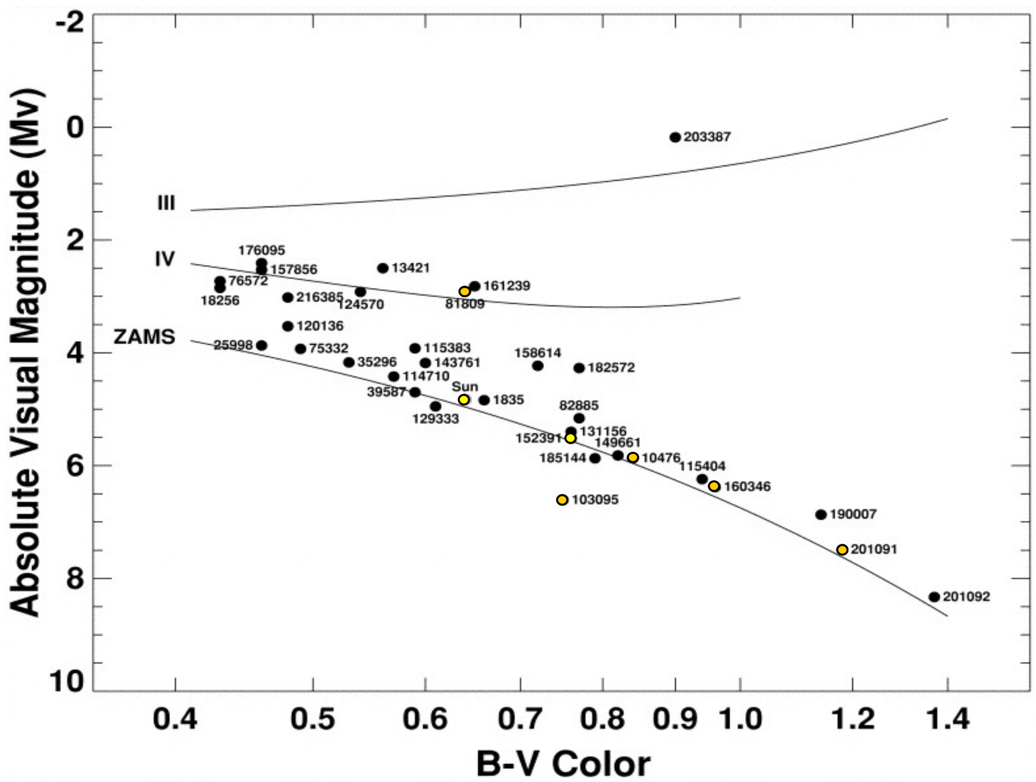


Abbildung 216, Quelle: (http://e-collection.ethbib.ethz.ch/eserv/eth:24899/eth-24899-01.pdf) zeigt das Hertzfeld-Russel-Diagramm für 34 sonnenähnliche Sterne nach Radick et al., 1998. Sonne und HD 152391 gelb, orange: Sterne aus der Abbildung 214.

Selbst bei stellaren Objekten, bei denen die Astrophysiker bisher davon ausgingen, dass sie keine oder nur wenig magnetische Aktivität aufweisen würden, wie z.B. sog. Zwergsterne, ergaben Untersuchungen (roter Zwerg TVLM513-46546, 0,09 Sonnenmasse, Oberflächentemperatur: 2.400 Kelvin), dass sie entgegen der gängigen Lehrmeinung, nicht nur keine, sondern sogar eine komplexe magnetische Aktivität aufweisen (Carnegie Institution, 06.12.2007). Dies zeigt, dass in diesem Forschungsfeld noch mit einigen „Überraschungen“ zu rechnen ist.

Das Max Planck Institut für Sonnenforschung (MPS) gibt an, dass die Sonne gegenwärtig geringere Schwankungen der Helligkeit aufweist, als vergleichbar aktive Sterne (http://www.mps.mpg.de/homes/schuessler/klima.pdf) und stellt die Frage: *“Wird das so bleiben?“* Insgesamt ist festzuhalten, dass stellare Objekte eine ausgeprägte magnetische Aktivität ausweisen und diese zwischen einer aktiven Phase, die teils deutlich über den jetzigen Sonnenaktivitätsschwankungen liegen und einer inaktiven Phase, vergleichbar dem Maunderminimum pendelt. Die derzeitigen Aktivitätsschwankungen der Sonne im Vergleich zu ihren „Schwestern“ sind als vergleichsweise gering einzustufen.

Man braucht kein Prophet zu sein, dass die Sonne noch viele Geheimnisse verborgen hält, die auf eine Entdeckung warten und die zum Verständnis den Klimas auf der Erde essenziell sind.

Anstatt Unsummen an Gelder dafür zu verwenden, Exorzisten-gleich einem Teufel (CO_2) nachzujagen, den es nicht gibt, sollten diese Gelder besser in die Sonnenforschung investiert werden. Ertrag und Ernte werden fruchtbarer ausfallen, als die bisherige Trockenernte bei den Treibhausgasen, die nach 20 Jahren nicht einmal den Beweis erbringen konnten, dass es einen Treibhauseffekt gibt – gibt keine wissenschaftlichen Beweise dafür, sondern einzig, zusammengebastelte Computermodelle, die mit manipulierten Daten und falschen Annahmen (siehe jüngstes Beispiel der NASA, die herausgefunden hat, dass die Erde fünfmal mehr Wärme in Weltall abstrahlt, als in den Modellen eingesetzt und daher in den Modellen viel zu viel Energie in der Atmosphäre verbleibt, was zur Folge hat, dass sämtliche Klimasimulationen grund-falsch, mit viel zu hohen Temperaturen sind) gefüttert werden und IPCC, PIK und Co. das Ergebnis anschließend als „Stein der Weisen“ verkaufen. Deren Absicht ist klar, wie die Karikatur in Abbildung 217 zeigt. Uns sollte das alles nicht gleichgültig sein, da IPCC, PIK und Co. ihr (bisher) sorgenfreies Leben mit unseren Steuergeldern betreiben.

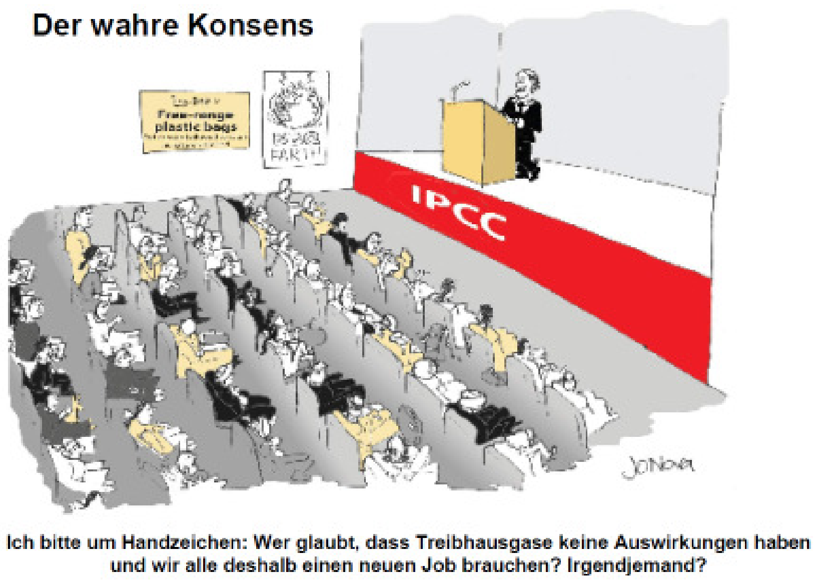


Abbildung 217

Teufel, Horror und Exorzisten sollten Hollywood vorbehalten bleiben, in der Realität und der Wissenschaft haben sie nichts zu suchen. Den Rückschritt ins Mittelalter gilt es zu verhindern. Die Artikelserie “Dynamisches Sonnensystem – Die wahren Hintergründe des Klimawandels“ ist als Beitrag dazu zu verstehen. Weitere Aufklärung wird auf EIKE folgen.

Raimund Leistenschneider - EIKE